

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

До захисту допущено:

В.о завідувача кафедри

_____В.С. Єременко

«__»_____20__р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Приладобудування»
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
на тему: «Розробка програмного додатку контролю дисперсності
розчинів»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПН-61-1
Мельниченко Дмитро Сергійович

Керівник:

професор, доктор технічних наук
Защепкіна Наталія Миколаївна

Рецензент:

Асистент
Сапегін Олександр Миколайович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

**на тему: «Розробка програмного додатку контролю дисперсності
розчинів»**

Київ – 2020 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"

Приладобудівний факультет

Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень «БАКАЛАВР»

Напрямок підготовки – 6.051003 – Приладобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

д.т.н., професор

Н.М. Защепкіна

_____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Мельниченко Дмитро Сергійович

1. Тема проєкту «Розробка програмного додатку контролю дисперсності розчинів», **керівник проєкту** Защепкіна Наталія Миколаївна, проф., д.т.н. затверджені наказом по

Університету від "___" _____ 2019 р. №___.

2. Строк подання студентом проєкту "20" травня 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту:

3.1. Об'єкт проєктування – інформаційна вимірювальна технологія та програмне забезпечення контролю мілко дисперсних речовин зольної природи в розчинах різного якісного і кількісного складу та технології виготовлення на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДС-1М.

3.2. Умови експлуатації вимірювального макету :

3.2.1 Вимірювальний макет на базі аналізатору дисперсності ВДС-1М допускає безперервну роботу в робочих температурних умовах застосування $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ протягом часу не менше 8 годин при збереженні своїх технічних характеристик у межах норм встановлених ТУ.

3.2.2. Вимірювальний макет захищений від прямого попадання води і від сильних механічних впливів.

3.2.3. Живлення вимірювального макету проводиться від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою $50 \pm 0,5$ Гц. Відхилення частоти і інші показники якості електричної енергії повинні відповідати ДСТУ 13109.

3.2.4. Електричний опір ізоляції між закороченими ланцюгами мережі і корпусом вимірювального макету не повинен бути менше 20 МОм.

3.2.5. За стійкістю до електричної міцності при кліматичних і механічних впливах вимірювальний макет задовольняє вимогам, встановленим для приладів групи 1 ДСТУ 22261; кліматичної групи УХЛ 4.1, умов зберігання і транспортування 1 ДСТУ 15150.

3.3. Характеристики системи:

3.3.1 Вимірювальний зразок – зольні фракції соняшникової олії.

3.3.2. Інструментальне обладнання забезпечення вимірів – вимірювальний макет контролю дисперсності на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДС-1М.

3.3.3. Розроблене в рамках дипломного проєкту бакалавра програмне забезпечення контролю мілко дисперсних фракцій зольної природи соняшникової олії, методики проведення вимірів та статистичної обробки даних.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно вирішити):

4.1. Теоретичний розділ.

4.1.1. Аналіз літературних джерел та патентів по темі досліджень.

4.1.2. Провести дослідження фізико-хімічного складу дисперсних розчинів.

4.1.3. Огляд методик контролю розмірних фракцій розчинів на різних стадіях технологічного процесу їх виготовлення.

4.1.4. Обґрунтування доцільності розробки інформаційної вимірювальної технології контролю розмірних фракцій в розчинах на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДС-1М.

4.1.5. Провести аналіз програмних засобів придатних для розробки інформаційної вимірювальної технології на базі вимірювального макету що містить лазерний вимірювач дисперсності.

4.2. проєктно-конструкторський розділ.

4.2.1. Розробити архітектуру програмного додатку контролю дисперсних розчинів із використанням даних в цифровій формі на базі макету вимірювальної установки.

4.2.2. Провести вибір набору параметрів, що характеризують дисперсний розчин найбільш повно та відображає рахункові концентрації часток.

4.2.3. Провести вибір технології для створення комп'ютерного додатку, вибір мови розмітки і дизайну графічного інтерфейсу.

4.2.4. Розробити алгоритм роботи із бібліотеками для графічної візуалізації вимірювальних параметрів

4.2.5. Забезпечити можливість імпорту результатів вимірювання основних дисперсних характеристик із формату даних ВДС-1М (Microsoft Excel), розробити алгоритм формування вибірки даних по заданим параметрам.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

5.1. Креслення оптичної схеми вимірювального макету на базі лазерного аналізатору дисперсності ВДС-1М

5.2. Структурна схема вимірювального макету

5.3. Схема архітектури програмного додатку контролю зольних фракцій соняшникової олії на базі макету вимірювальної установки.

5.4. Алгоритм роботи окремих модулів програмного додатку.

6. Дата видачі завдання "01" березня 2020 р.

РЕФЕРАТ

Метою дипломного проєкту є вдосконалення методу контролю дисперсності розчинів з використанням розробленого програмного додатку.

Актуальність даної роботи: Для технологічних процесів приготування емульсій(дисперсних розчинів) найважливішим завданням є оперативний контроль їх основних фізико-хімічних параметрів, що потребує застосування сучасних технічних засобів вимірювання, обробки, зберігання та зображення інформації для досягнення відповідної якості.

Об'єкт дослідження – контроль дисперсності розчинів в реальному часі.

Предметом дослідження – розробка програмного додатку для дослідження якісних та кількісних параметрів дисперсності розчинів.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз літературних джерел за темою бакалаврської роботи.
- Проаналізувати головні фізико-хімічні показники дисперсних розчинів.
- Проаналізувати сучасні методики контролю характеристик дисперсних розчинів та вимог до їх контролю.
- Проаналізувати характеристики вимірювальних засобів які можуть бути використані для аналізу розміру частинок .
- Провести дослідження з використанням експрес-методу для аналізу розміру часток дисперсних розчинів.
- Обґрунтувати доцільність застосування програмного додатку для обробки експериментальних даних.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні способу контролю виготовлення дисперсних розчинів за допомогою використання розробленого програмного забезпечення для безперервного контролю розмірних спектрів в реальному часі.

Практична цінність полягає у впровадженні використання розробленого програмного забезпечення для безперервного контролю розмірних спектрів в реальному часі на виробництві.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, 29 рисунків, 7 таблиць, 3 схем, списку використаних джерел із 45 позицій та додатків. Загальний обсяг роботи – 75 сторінок, з яких основна частина викладена на 76 сторінках.

Ключові слова: мілкодисперсні частки, дисперсні розчини, емульсія, суспензія, малокутове лазерне розсіювання, розмірний спектр, вимірювач дисперсності лазерний ВДЛ-1М, удосконалення методу, програмний додаток, Java, автоматизована обробка результатів вимірювань.

Ключові слова: мілкодисперсні частки, дисперсні розчини, емульсія, суспензія, малокутове лазерне розсіювання, розмірний спектр, вимірювач дисперсності лазерний ВДЛ-1М, удосконалення методу, програмний додаток, Java, автоматизована обробка результатів вимірювань..

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ПРАЦЬ ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНИХ РОЗЧИНІВ.....	12
1.1. Аналіз літературних джерел.....	12
1.2. Методики контролю дисперсності розчинів за принципами функціонування.....	13
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНИХ РОЗЧИНІВ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ.....	23
2.1. Опис об'єкту досліджень.....	23
2.2. Вибір оптимальної вимірювальної установки.....	29
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ОБРАНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	50
3.1. Аналіз можливостей вимірювальної установки.....	50
3.2. Вибір вимірювальних параметрів частинок дисперсних розчинів.....	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНОСТІ РОЗЧИНІВ.....	66
4.1. Технології використані в розробці.....	66
4.2. Розробка будови програмного додатку.....	69
4.3. Алгоритм роботи технологій використаних для розробки.....	73
4.3.1 Модель ланцюгів наслідування.....	76
4.3.2 Алгоритм роботи RxJava.....	80
4.4 Алгоритм роботи програмного додатку.....	81
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	100
ДОДАТКИ.....	105

ВСТУП

Для технологічних процесів приготування емульсій найважливішим завданням є оперативний контроль їх основних фізико-хімічних параметрів, що потребує застосування сучасних технічних засобів вимірювання, обробки, зберігання та зображення інформації.

Емульсії представляють собою гетерогенні дисперсні системи, що складаються з двох нерозчинних або малорозчинних одна в одній рідин. При цьому одна рідина (дисперсна фаза) розподілена в іншій (дисперсне середовище) у вигляді дрібних краплинок. Властивості емульсій залежать від багатьох факторів та визначаються такими показниками, як: в'язкість, густина, концентрація і розміри краплинок дисперсної фази, поверхневий натяг, стабільність тощо.[1, 46]

На даний час розроблено цілу низку методів і технічних засобів контролю дисперсності емульсій та суспензій, що дозволяють визначати розміри краплинок або частинок дисперсної фази та розподіл їх за розмірами.[6,7,8,9,10]

Найбільшого практичного застосування набули методи, що ґрунтуються на застосуванні розсіювання світлового потоку, традиційної та електронної мікроскопії, цифрової відео-мікроскопії, ультразвукової та електроакустичної спектрометрії, ядерного магнітного резонансу, тощо.

Більшість з цих методів є лабораторними, потребують значних витрат часу та підготовки. Застосування того чи іншого промислового методу контролю дисперсності визначається багатьма факторами.

Для забезпечення необхідної точності вимірювання треба враховувати тип технологічного процесу (неперервний чи періодичний), діапазон розмірів краплинок і концентрацій дисперсної фази.

Параметри, від яких залежить вибір засобів контролю дисперсності емульсії:

- роздільна здатність,
- чутливість,
- підготовки зразка,

- тривалість аналізу,
- надійність,
- простота використання і обслуговування,
- вартість,
- тип і форма вихідного сигналу,
- зберігання і передача вимірюваних даних.[1]

Метою дипломного проєкту є вдосконалення методу контролю дисперсності розчинів з використанням розробленого програмного додатку.

Об'єкт дослідження – контроль дисперсності розчинів в реальному часі.

Предметом дослідження – розробка програмного додатку для дослідження якісних та кількісних параметрів дисперсності розчинів.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести аналіз літературних джерел за темою бакалаврської роботи.
- Проаналізувати головні фізико-хімічні показники дисперсних розчинів.
- Проаналізувати сучасні методики контролю характеристик дисперсних розчинів та вимог до їх контролю.
- Проаналізувати характеристики вимірювальних засобів які можуть бути використані для аналізу розміру частинок .
- Провести дослідження з використанням експрес-методу для аналізу розміру часток дисперсних розчинів.
- Обґрунтувати доцільність використання програмного додатку для обробки даних дисперсності розчинів.
- Провести апробацію програмного додатку з метою визначення швидкодії та точності обробки даних.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні способу контролю виготовлення дисперсних розчинів за допомогою використання розробленого програмного забезпечення для безперервного контролю розмірних спектрів в реальному часі.

Практична цінність полягає у впровадженні вищезазначених методів і засобів та пропонується у вигляді макету вимірювального засобу та програмного додатку придатного для зменшення часу обробки даних та аналізу мілко дисперсних частинок у розчинах та визначення їх відповідності необхідним параметрам в реальному часі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ПРАЦЬ ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНИХ РОЗЧИНІВ

Необхідно розглянути праці дослідників щоб з'ясувати якими методами користувалися вони, та для яких цілей дані методи краще використовувати.

1.1. Аналіз літературних джерел

Розглядаючи тему бакалаврської роботи було проаналізовано численні матеріали різних дослідників, які використовувались для вирішення подібних задач.

А саме:

- дослідження ступеню дисперсності торфу[38]. В даній статі було проведено дослідження по визначенню розмірів частинок торфу в суспензіях. В даному дослідженні було використано вже застарілий метод безперервного зважування осаду який був виділений під час відстоювання також відомий як седиментація . В ході експерименту було виявлено, що розмір частинок зменшується зі збільшенням густини осаду, що дало можливість визначати розміри даних торф'яних частинок.

- оцінка застосування методу лазерної дифрактометрії для визначення гранульованого складу ґрунту[39].

- неоднорідності рідкого середовища під впливом температури [40].

- експрес метод виявлення домішок в рідких середовищах [41].

- розмірний спектр мікрогених структур як фізико-хімічний стан рідинної системи [24].

Висновок: розглянувши праці інших дослідників. необхідно проаналізувати переваги та недоліки методів контролю дисперсності розчинів з метою вибору оптимального.

1.2. Методики контролю дисперсності розчинів за принципами функціонування.

У промисловості для отримання стабільних емульсій застосовують спеціальні поверхнево-активної речовини – емульгатори. Відсутність емульгатора призводить до того, що поверхня розділу фаз не може підтримувати дотичне напруження, внаслідок чого кожна рідина має тенденцію переміщатися окремо.

Фізична стабільність емульсії означає постійність дисперсного стану, при цьому краплі не осідають, не з'єднуються, практично не змінюються за розмірами [5].

Мірою загальної стійкості емульсії може слугувати вимірювання її густини за певний проміжок часу у визначеному шарі або кількість виділеної дисперсної фази при відстоюванні.

Процес емульгування широко використовується в багатьох галузях промисловості, зокрема, у харчовій, косметичній, фармацевтичній, лакофарбовій, нафтовій та хімічній, у паливно-енергетичному комплексі.

Головним принципом виробництва емульсії є забезпечення високої напруги зсуву в дисперсному середовищі для деформації і руйнування великих крапель дисперсної фази. Основними типами установок по приготуванню емульсій є диспергатори різних типів [46].

Показником ефективності таких установок і важливим параметром будь-яких емульсій є їх дисперсність, оскільки вона впливає на характеристики в'язкості та стабільності емульсій. Під дисперсністю розуміють ступінь роздробленості краплинок дисперсної фази в дисперсному середовищі.

Дисперсність емульсій характеризується такими взаємозв'язаними величинами, як діаметр краплинок дисперсної фази, обернена величина діаметра краплинки, питома міжфазова поверхня – відношення сумарної площі поверхні краплинок до їх загального об'єму.

Розглянемо і порівняємо основні методи контролю дисперсності емульсій, оцінюючи їх переваги і недоліки та можливості промислового застосування (див. рис. 1.1).

На рис. 1.1 показано діапазони вимірювання діаметрів краплинок дисперсної фази за допомогою сучасних технічних засобів, що ґрунтуються на різних принципах вимірювання, оскільки саме розміри краплинок є визначальними при дисперсійному аналізі емульсій.

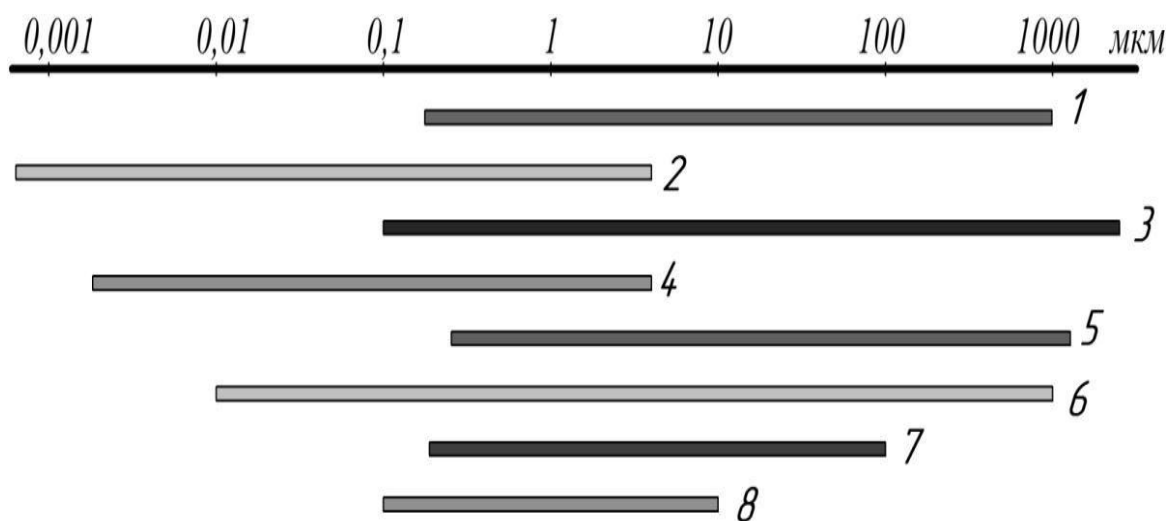


Рис. 1.1. Діапазони визначення розмірів різними методами

Діапазони визначення розмірів краплинок різними методами:

- 1 – традиційна мікроскопія; 2 – електронна мікроскопія;
- 3 – лазерна дифракція; 4 – динамічне розсіювання світла;
- 5 – метод лічильника Коултера; 6 – ультразвукова спектроскопія; 7 – ядерний,магнітний резонанс;8 – електроакустичний метод

Традиційна оптична мікроскопія (або світлова мікроскопія) знайшла широке застосування для аналізу емульсій та частково для розподілу краплинок дисперсної фази в емульсіях за розмірами. Роздільна здатність оптичних мікроскопів, тобто найкоротша відстань між двома точками на зразку, які ще може розрізнити спостерігач або фотокамера як окремі об'єкти, залежить в

основному від числової апертури. В оптимальних умовах роздільна здатність може знаходитися в межах від 200 до 500 нм.

Хоча отримання зображень емульсії методом світлової мікроскопії не потребує ніякої підготовки зразка, поганий контраст між фазами в емульсії ускладнює надійне розрізнення фаз одна від одної. Контраст може бути покращений шляхом хімічного фарбування однієї з фаз емульсії або шляхом модифікації конструкції мікроскопа.

Однак, традиційна оптична мікроскопія дозволяє отримати цінну інформацію про розподіл краплинок за розмірами в емульсіях, що містять великі краплі і забезпечує візуалізацію явищ флокуляції та коалесценції [6], які можуть визначати стабільність емульсії. У даний час поєднання оптичних мікроскопів і високошвидкісних цифрових відеокамер дає можливість проводити експрес-моніторинг процесу емульгування.

Електронна мікроскопія. Електронна мікроскопія включає трансмісійну електронну мікроскопію (ТЕМ) та растрову електронну мікроскопію (РЕМ). Електронні мікроскопи формують зображення, використовуючи фокусовані пучки електронів за допомогою магнітних лінз.

Теоретично, найменший розмір об'єкта, який може бути розрізнений за допомогою електронного мікроскопа, становить 0,1 – 0,2 нм, але на практиці – зазвичай до 1 нм через обмеження у стабільності та продуктивності магнітних лінз. РЕМ та ТЕМ значно відрізняються за способом формування зображення.

У РЕМ для дослідження зразків емульсій використовуються 3-вимірні топографічні зображення, а в ТЕМ внутрішня структура зразка відображується за допомогою 2-вимірних зображень тонкого шару цього зразка [6]. Обидва методи потребують значних зусиль при підготовці зразка, оскільки дослідження проводяться в умовах вакууму. Тому зразки емульсій з високим вмістом води попередньо підсушують або заморожують.

Отже, методи електронної мікроскопії можна застосовувати лише в лабораторних умовах та є непридатними для неперервного контролю дисперсності емульсій.

Метод статичного розсіювання світла (лазерної дифракції). В аналізаторах розмірів частинок, що використовують статичне розсіювання світла, зразок емульсії просвічується лазерним променем. Краплинки в паралельному лазерному пучку розсіюють світло на постійний кут, величина якого залежить від діаметра краплинки. Лінза збирає розсіяне світло на фото детектор, що встановлений у фокальній площині. Не розсіяне світло завжди сходиться у фокальній точці на оптичній осі.

Через розсіювання лазерного променя позаду проби виникає характерний, кільцеподібний розподіл інтенсивності світла, який сприймається детектором. По відстані між цими кільцями (або відповідному куту розсіювання) розраховується розмір краплинок: великі краплинки створюють тісно розташовані кільця (малі кути розсіювання), маленькі краплинки – кільця, що розташовані ширше (великі кути розсіювання). Для розрахунку розміру краплинок та розподілу їх за розмірами застосовується теорія Фраунгофера або теорія Мі.

Більшість комерційних лазерних дифракційних аналізаторів дозволяють вимірювати розміри краплинок у діапазоні від 0,1 мкм до 3 мм і більше [6, 8]. Перевагою методу статичного розсіювання світла є можливість неперервного контролю емульсій у потоці та повної автоматизації вимірювань. Однак, цей метод має істотне обмеження у застосуванні: частка дисперсної фази повинна бути відносно невеликою (до 0,5 %) для уникнення ефектів багатократного розсіювання. Тому більшість емульсій потребують значного розбавлення перед аналізом, що може вносити суттєві похибки в розподіл краплинок за розмірами.

Метод електрочутливої зони (або метод лічильника Коултера) ґрунтується на вимірюванні змін електричного опору, спричинених краплями, що мають набагато меншу електропровідність, ніж неперервна електролітна фаза. У зоні сприйняття кожна частинка витісняє певний об'єм електроліту. Об'єм, що витіснився, вимірюється як імпульс напруги, величина якого є пропорційною до об'єму частинки. Цей метод дозволяє визначати розподіл за розмірами краплинок діаметром від 0,4 до 1200 мкм.

Для проведення вимірювань зразок емульсії повинен бути розміщений між двома електродами. Один з електродів знаходиться у скляній трубці з невеликим отвором, через який всмоктується емульсія. Визначається і реєструється величина електричного імпульсу, що створюється кожною краплинкою завдяки нижчій електропровідності, ніж у неперервної фази.

Як правило, краплинки в межах від 2 до 60% діаметра отвору можуть бути надійно проаналізовані [8]. Якщо емульсія містить широкий діапазон розмірів краплинок, то може виникнути необхідність використання кількох скляних трубок з різними отворами для визначення повного розподілу краплинок за розмірами. Обладнання, що базується на цьому принципі, комерційно доступне впродовж багатьох років і широко застосовується в промисловості.

Цей метод має певні обмеження, які слід урахувати, залежно від параметрів аналізованих емульсій. Лічильники електричних імпульсів зазвичай потребують відносно низької концентрації краплинок ($<0,1\%$ мас.), щоб одночасно через отвір проходила тільки одна частинка.

Отже, емульсії з вищою концентрацією необхідно розбавляти перед аналізом, а це може змінити мікроструктуру зразка. Крім того, краплі емульсії мають перебувати у розчині електроліту для отримання точних вимірювань.

Ультразвукова спектроскопія полягає у вимірювання частотної залежності швидкості ультразвуку або коефіцієнта його затухання в емульсії для отримання інформації про концентрацію та розподіл краплинок дисперсної фази за розмірами. Швидкість, при якій ультразвукова хвиля поширюється в емульсії і ступінь її затухання, залежить від характеру взаємодії ультразвукових хвиль з частинками дисперсної фази, наприклад, пропускання, відбивання, поглинання і розсіювання.

Ультразвукова спектроскопія має переваги перед багатьма існуючими технологіями визначення розмірів частинок, оскільки вона є неруйнівною і неінвазивною, придатною для швидких вимірювань без порушення

технологічного процесу і може бути використана для характеристики середовищ, які є концентрованими й оптично непрозорими.

Максимальна концентрація дисперсної фази в аналізованій емульсії коливається приблизно між 10 і 50 % мас. в залежності від характеру системи [10]. Інші основні обмеження цього методу полягають у тому, що бульбашки повітря можуть створювати перешкоди для вимірювань, а також необхідна велика кількість інформації про теплофізичні властивості компонентів емульсії для інтерпретації ультразвукових спектрів.

При визначенні розміру частинок за допомогою ультразвукової спектроскопії необхідно виконати 2 етапи: 1) вимірювання швидкості ультразвуку або спектрів його затухання в емульсії; 2) інтерпретація отриманих спектрів за допомогою відповідної теорії.

Для того, щоб охопити широкий діапазон розмірів частинок, необхідно вимірювати ультразвукові властивості колоїдної дисперсії в широкому діапазоні частот. Комерційні ультразвукові прилади для визначення розмірів частинок зазвичай здійснюють вимірювання в діапазоні від 1 до 200 МГц, що дає їм можливість проаналізувати частинки радіусом від близько 10 нм і 1000 мкм [4, 10]. Цей діапазон може бути розширений за допомогою вимірювання при більш високих або більш низьких частотах.

Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР) використовує вимірювання самодифузії для визначення розподілу частинок за розмірами. Вимірювання самодифузії молекул у рідині методом ЯМР полягає у використанні імпульсних градієнтів магнітного поля. Метод ЯМР переважно використовує взаємодію між радіохвилями та ядрами атомів гідрогену (протонів) або деяких інших атомів. Зразок для аналізу поміщається у градієнт статичного магнітного поля, до якого подається послідовність радіочастотних імпульсів.

Ці імпульси спричиняють збудження ядер атомів гідрогену до вищих енергетичних рівнів, які генерують вимірюваний ЯМР сигнал. Затухання цього

сигналу залежить від переміщення ядер у зразку і може бути використане для вивчення молекулярного руху [7].

В об'ємі рідини відстань, яку молекула може проходити за певний час визначається її коефіцієнтом поступальної дифузії. Коли рідина міститься у краплинках емульсії, її дифузія обмежена поверхнею краплинки. Якщо рух молекули в краплі спостерігається впродовж тривалого часу, дифузія обмежується, оскільки молекула не може рухатися на відстань, що перевищує діаметр краплинки.

Зважаючи на це, можна визначити, коли дифузія стає обмеженою за допомогою вимірювання затухання сигналу ЯМР у різний період часу. З цього сигналу може бути визначений розподіл краплинок за розмірами і структурна організація краплинок в емульсії.

На ЯМР вимірювання не впливають оптичні та діелектричні властивості середовища. Тому за допомогою цього методу можна аналізувати як прозорі, так і світлонепроникні емульсії. Для аналізу емульсій найбільш поширеними є низькочастотні ЯМР-спектрометри, що працюють на частотах 2 – 20 МГц. Діапазон розмірів частинок, що може бути точно визначений цим методом, лежить у межах від 0,2 до 100 мкм [6]. Перевагами методу ЯМР-спектроскопії є його неінвазивність та невеликі розміри досліджуваного зразка, що не вимагає додаткової підготовки проби. Цей метод адаптований для світлонепроникних та дуже в'язких емульсій, наприклад, водно-нафтових і харчових емульсій, які не придатні для дослідження альтернативними методами. Крім того, існують модифікації цього методу для неперервного аналізу емульсій в умовах динамічного потоку.

Електроакустичний метод. Електроакустика дає унікальну можливість оцінювати як розмір крапель емульсії, так і стан поверхневий (кінетичний) заряд в одному вимірюванні. В електроакустичній спектроскопії існує два основні підходи на основі вимірювання спектрів відповідних параметрів: 1) колоїдного вібраційного потенціалу або струму (КВП або КВС) і

2)електрокінетичної звукової амплітуди (ЕЗА). Обидва ці спектри містять інформацію про розподіл крапель за розміром і дзета-потенціал, який пов'язаний з електричним зарядом краплі. Існує ряд приладів, заснованих на електроакустичному принципі, що можуть застосовуватися для аналізу крапель з розмірами від 0,1 до 10 мкм. Об'єднавши електроакустичну спектроскопію з ультразвуковою, діапазон розмірів крапель може бути розширений від 10 нм до 1 мм [9 10].

Основною перевагою електроакустичних методів є можливість неперервного контролю, а також те, що вони можуть бути застосовані до концентрованих емульсій (до 60% об. дисперсної фази) без необхідності будь-якого розбавлення зразка. Проте ці методи можуть використовуватися лише для аналізу заряджених краплинок дисперсної фази, що значно відрізняються по густині з дисперсним середовищем, в'язкість якого повинна бути відомою на частоті вимірювань.

Результати аналізу методів та їх характеристик зведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Характеристики розглянутих методів

Назва методу	Діапазон вимірювань	Переваги і недоліки
1	2	3
Оптична мікроскопія	Роздільна здатність: 200 – 500 нм	Не потребує спеціальної підготовки зразка. Можливість поєднання з цифровою відеокамерою для неперервного контролю.
Трансмісійна електронна мікроскопія	Роздільна здатність: 0,2 – 1 нм	Складне приготування зразка. Зразок має бути дуже тонким (0,05 – 0,1 нм).
1	2	3

Растрова електронна мікроскопія	Роздільна здатність: 3 – 6 нм	Складне приготування зразка.
Статичне розсіювання світла (лазерна дифракція)	Діаметри краплинок 0,1 – 3000 мкм	Частка дисперсної фази <0,5 % мас. Часто необхідне розбавлення зразка. Придатний для неперервного контролю.
Динамічне розсіювання світла	Діаметри краплинок 3 нм – 5 мкм	Частка дисперсної фази <0,1 % мас. у режимі розповсюдження. Частка дисперсної фази <10 % мас. у режимі зворотного розсіювання.
Метод електрочутливої зони (лічильник Коултера)	Діаметри краплинок 0,4 – 1200 мкм	Частка дисперсної фази <0,1 % мас. Часто необхідне розбавлення зразка. Дисперсне середовище повинне бути електролітом для більш точних вимірювань.
Ультразвукова спектроскопія	Діаметри краплинок 0,01 – 1000 мкм	Метод придатний для високо- і низькоконцентрованих емульсій. Ультразвук є неруйнівним та проникним для більшості матеріалів, метод придатний для неперервного контролю.
Ядерний магнітний резонанс	Діаметри краплинок 0,2 – 100 мкм	Невеликий зразок (близько 0,5 г). Можливість аналізу оптично непрозорих емульсій. Можливість вимірювань по місцю, без порушення технологічного процесу.

Електроакустичний	Діаметри краплинок 0,1 – 10 мкм	<p>Придатний для концентрованих емульсій (до 60% об. дисперсної фази).</p> <p>Краплинки повинні мати електричний заряд та значно відрізнятися по густині від дисперсного середовища.</p> <p>Можливість неперервного контролю.</p>
-------------------	---------------------------------	---

Висновок: Проаналізувавши методи для контролю дисперсності розчинів було визначено, що методи мають суттєві недоліки через які їх використання для експрес-метрії не є можливим:

- установки які використовують принцип ЯРМ мають дуже великі габарити , часто займають спеціально обладнані кімнати з великою площею, також вони досить складні в обслуговуванні. Окрім того данні прилади мають досить високу вартість, їх ціна починається від 32 тисяч доларів.

- прилади які побудовані на методі лічильника Коутера також мають недолік , для їх точної роботи необхідно щоб дисперсна фаза була розчинена в електроліті, а це не завжди є можливим , а отже не підійде для більшості технічних процесів.

- трансмісійна та растрова мікроскопія потребує попередньої обробки зразка для більшої контрастності зображення, через що відбувається досить велика пауза між вимірюваннями.

Отже, необхідно розглянути головні фізико-хімічні властивості суспензій та визначити параметри вимірювання для подальшого визначення методу контролю та вибору приладу на його базі.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНИХ РОЗЧИНІВ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

Необхідно розглянути об'єкт досліджень для з'ясування його фізичних та хімічних властивостей та на що вони впливають.

2.1. Опис об'єкту досліджень

Дисперсність – фізична величина, що характеризує розмір зважених часток в дисперсних системах. Це величина, що показує яку кількість частинок можна укласти до повного насичення в одному кубічному метрі розчинника. Чим менше розмір часток, тим більше дисперсність.[2] Дисперсність визначається відношенням загальної поверхні всіх частинок до їх сумарного об'єму або маси (питома поверхня частинок дисперсної фази), або оберненою величиною середнього розміру частинок.

Полідисперсність визначається функцією розподілу частинок за розмірами або масою (Рис 2.1).

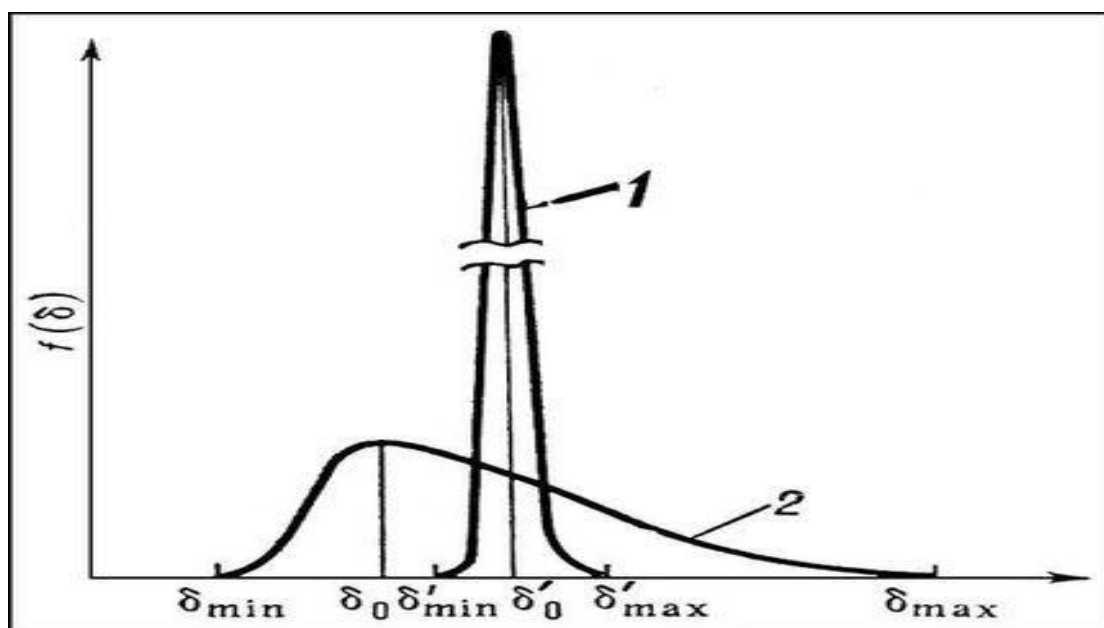


Рис 2.1 Криві розподілу обсягу (маси) часток по розмірах

1 - монодисперсна система;

2 - полідисперсна система.

δ_{\min} , δ_{\max} , δ_0 - відповідно мінімальний, максимальний та найімовірніший розмір часток;

$f(\delta)$ - функція розподілу, частка обсягу (або маси) дисперсної фази, яка припадає на частки з даними інтервалом розмірів, поділена на величину інтервалу.

Дисперсні системи - утворення, що складаються з двох або більше фаз, які практично не змішуються і не реагують один з одним. Речовина, яку дрібно розподілено в іншу речовину (дисперсійне середовище) називають дисперсною фазою .

Умовно розрізняють грубо (низько) дисперсні системи з розміром частинок від 1 мкм і вище і тонко (високо) дисперсні системи з розміром частинок нижче 1 мкм. Усередненим показником дисперсності є питома поверхня. Більш повне уявлення про дисперсності дає крива розподілу обсягу або маси дисперсної фази за розмірами частинок.

Для пористих тіл замість поняття дисперсності використовують рівнозначне поняття пористості. Дисперсність як технологічний показник має важливе значення у виробництві і застосуванні різних порошкоподібних і дрібнозернистих продуктів, таких, як пігменти, наповнювачі для пластмас, будівельні матеріали, фармацевтичні препарати, харчові продукти(див.табл 2.1).[3]

Таблиця 2.1

Класифікація дисперсних систем за ступенем дисперсності

Системи	Розмір частинок, см	Ступінь дисперсності D, см-1	Подрібненість речовин
Грубо дисперсні	10 ⁻² – 10 ⁻⁵	10 ² – 10 ⁵	Макроскопічна Мікроскопічна

			на
Гранично - високо дисперсні	10-5 – 10-7	10-5 – 10-7	Колої дна
Молекулярні та йонні	10-7 – 10-8	10-7 – 10-8	Молеку лярна та йонна

Розрізняють гомогенні і гетерогенні дисперсні системи. Гомогенні дисперсні системи однофазні. Розчини і газові суміші належать до гомогенних дисперсних систем, тому що їх компоненти утворюють одну фазу. Гетерогенні дисперсні системи багатофазні. Вони складаються з суцільної безперервної фази – дисперсійного середовища і подрібненої – дисперсної фази.

Дисперсні системи класифікують за дисперсністю, агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища, інтенсивністю взаємодії між ними, відсутністю або утворенням структур в дисперсних системах.

Кількісною характеристикою дисперсності є ступінь дисперсності D – величина, обернена розміру (a) дисперсних частинок,

$$D = \frac{1}{a} \quad (2.1)$$

де “ a ” дорівнює або діаметру сферичних частинок, або довжині ребра кубічних частинок, або товщині плівок.

Дисперсні системи третьої групи відомі під загальною назвою істинні, або молекулярні розчини. Вони можуть утворюватись самовільно, є системами термодинамічно стійкими. Дискретні одиниці в них або прості молекули, або іони.

Дисперсні системи другої групи – колоїди, або колоїдні системи. Структурною одиницею в них є або комплекс (агрегат), який складається з молекул, атомів або іонів (міцела) або макромолекула дуже великих розмірів - $10^{-5} - 10^{-7}$ см.

Різноманітність дисперсних систем зумовлена тим, що фази, які їх утворюють, можуть бути в будь-якому з трьох агрегатних станів. Агрегатний стан фаз позначають літерами Г (газ), Р (рідина), Т (тверда речовина), вказуючи першим агрегатний стан дисперсійного середовища, а потім через тире – агрегатний стан дисперсної фази.(див. схему 2.2)[4]

Агрегатний стан дисперсійного середовища	Агрегатний стан дисперсної фази		
Газовий	Рідкий	Твердий	
Газовий	Гомогенна система	Туман Г1-Р2 (аерозоль)	Дим, пил Г1-Т2 (аерозоль)
Рідкий	Піна Р1-Г2	Емульсія Р1-Р2	Суспензія Р1-Т2
Твердий	Тверда піна Т1-Г2	Рідкі включення в твердих тілах Т1-Р2	Тверді включення в твердих тілах Т1-Т2

Схема 2.2 Класифікація дисперсних розчинів за агрегатним станом дисперсного середовища - дисперсної фази

В залежності від агрегатного стану дисперсійного середовища і дисперсної фази розрізняють суспензії, емульсії, аерозолі, піни Суспензії – це грубо-дисперсні системи, завис твердих частинок у рідинах (Р1 – Т2). У вигляді суспензій застосовують будівельні матеріали (цементи, глини, тощо), лаки і фарби, засоби боротьби з шкідниками сільськогосподарських культур.

Емульсіями називають дисперсні системи, що складаються з двох взаємно нерозчинних рідин, одна з яких розподілена в іншій у вигляді дуже маленьких крапельок (Р1 – Р2). Прикладами емульсій можуть слугувати бензин у воді, олія у воді, молоко.

Дисперсні системи з газоподібним дисперсійним середовищем називають аерозолями. Тумани – це аерозолі з рідкою дисперсною фазою (Г1 – Р2), а пил, дим – аерозолі з твердою дисперсною фазою (Г1 – Т2).

Піни – це дисперсні системи, що складаються з комірок, заповнених газом і відділених одна від одної рідкими або твердими плівками дуже малої товщини (Р1 – Г2, Т1 – Г2).

Системи, в яких одна речовина рівномірно розподілена у вигляді частинок різного розміру в іншій, називаються дисперсними.

Розчин, який перебуває в рівновазі з розчиненою речовиною, називають насиченим.

Ненасиченим називають розчин, в якому при даних умовах ще може розчинитись деяка кількість взятої речовини.

Перенасиченим називають розчин, який містить розчиненої речовини більше, ніж це відповідає розчинності цієї речовини при даній температурі.[4]

Розмір частинок впливає - і нерідко значно впливає - на розчинність, реакційну здатність, токсичність, стабільність, оптичні властивості речовин, в'язкість і плинність колоїдних розчинів і суспензій, смак харчових продуктів і ефективність ліків.

Швидкість простого (фізичного) розчинення залежить від швидкості дифузійного підведення розчинника до поверхні твердого тіла, швидкості переходу речовини з твердого стану в розчин і дифузії розчиненої речовини від поверхні розчинення в основний об'єм розчинника.

У загальному випадку концентрація речовини біля поверхні розчинення залежить від співвідношення швидкостей всіх трьох стадій і знаходиться в діапазоні між концентрацією насичення C_s і концентрацією в основному обсязі розчинника C_1 .

У більшості реальних випадків швидкості підведення розчинника і власне між фазового переходу значно перевищують швидкість дифузійного відводу речовини в основний об'єм рідини, концентрація речовини біля поверхні

розчинення дорівнює концентрації насичення, а зміна маси твердої речовини M підпорядковується залежності

$$-\frac{dM}{d\tau} = \beta_c F (C_s - C_1) \quad (2.2)$$

де τ – час; β_c – коефіцієнт віддачі маси розчиненої речовини; F – поверхня розчинення

При розчиненні одиночних сферичних частинок або високодисперсної системи сферичних частинок у великому обсязі рідини рушійна сила процесу залишається приблизно постійною. З рівняння (2.1.2) після поділу змінних і інтегрування отримуємо:

$$\int_{r_0}^r \frac{dr}{\beta_c(r)} = \frac{C_s - C_1}{\rho_s} \quad (2.3)$$

де r і r_0 – відповідно поточний і початковий радіуси частинок.

Залежність $\beta_c(r)$ знаходиться з співвідношень типу (2.2). У найпростішому випадку ламінарного режиму обтікання частинок ($Re < 0,2$) дифузний критерій Шервуда можна прийняти $Sh \gg 2$, тоді

$$\beta_c(r) = \frac{D}{r} \quad \text{і інтегрування (2.2) дає рівняння взаємозв'язку радіусу}$$

частинок r , поточного часу t і часу повного розчинення t_{pr} [37]:

$$\frac{r}{r_0} = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{pr}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\tau_{pr} = \frac{\rho_s r_0^2}{2D(C_s - C_1)} \quad (2.5)$$

Згідно з формулою 2.2 стверджуємо, що час розчинення залежить від площі поверхні розчинюваного матеріалу, а отже, якщо прийняти розчинювану речовину за ідеальні сфери з формули 2.5 можна з'ясувати, що чим менший радіус частинок тим швидше відбудеться повне розчинення речовини.

Отже, необхідно провести дослідження характеристик макетів вимірювальних установок та обрати оптимальну.

2.2. Вибір оптимальної вимірювальної установки

Розглянемо прилади, які працюють на методах, що спроможні надати необхідний функціонал, а саме електронна мікроскопія, лазерна дифракція та ультразвукова спектроскопія.

Електронна мікроскопія має досить велику кількість приладів-аналогів для контролю дисперсності частинок в розчинах та в сухих фракціях. Розглянемо декілька з них.

CAMSIZER P4[11]

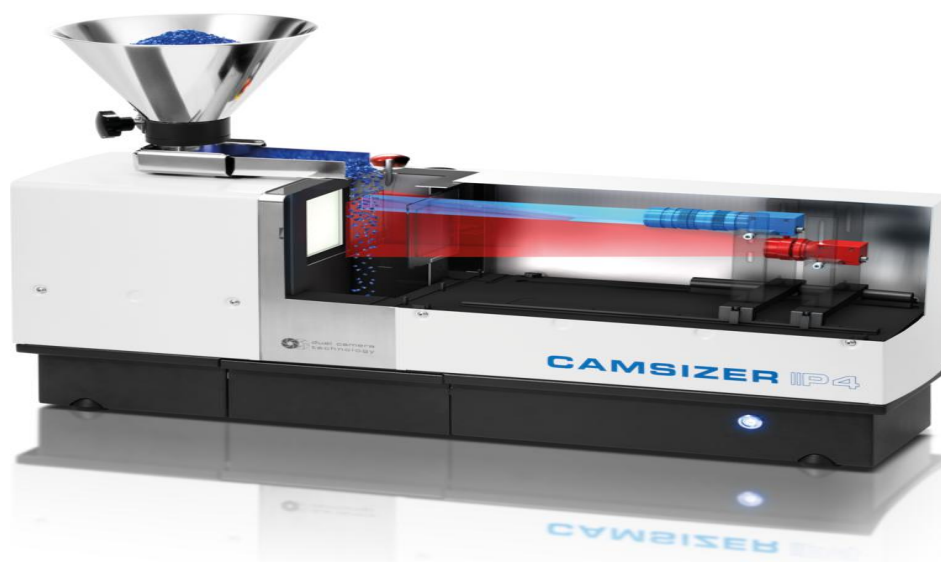


Рис 2.2 Аналізатор CAMSIZER P4

CAMSIZER P4 - компактний лабораторний аналізатор для визначення гранулометричного складу, форми частинок порошків і гранул, а також ряду інших додаткових параметрів.

CAMSIZER P4 Software - Нове програмне забезпечення аналізатора включає в себе бібліотеку зображень і контурів кожної частки визначення розміру і форми частинок, 3D графіку по оцінці аналізованих параметрів.(В комплекті)

Принцип роботи приладу CAMSIZER P4 заснований на використанні цифрової обробки динамічних зображень відповідно до стандарту ISO 13322-2. Зразок подається в зону вимірювання за допомогою вібрувального лотка, де аналізовані частинки потрапляють між планарним джерелом світла і двома цифровими CCD-камери. Проекції аналізованих частинок записуються зі швидкістю 60 зображень в секунду. Завдяки цьому, майже кожна частка записується і аналізується в широкому діапазоні від 20мкм до 30мм без використання додаткових налаштувань приладу. Короткий час витримки, завдяки новому поколінню LED джерела світла, дозволяє визначати досить чітко проекції аналізованих частинок.

Роздільна поверхню камер дозволяє визначати структуру поверхні частинок майже так само як оптичні мікроскопи.

Використання унікальної, запатентованої, двокамерної системи дозволяє отримувати зображення частинок з високим ступенем достовірності і забезпечуючи тим самим високу статистичну надійність у всьому інтервалі вимірювання.

Zoom - камера дозволяє визначати дрібні частинки з високою роздільною здатністю, камера Basic дозволяє визначати великі частки і гарантує високу статистичну достовірність результатів вимірювання. Крім високого ступеня відтворюваності результатів вимірювання, навіть невелика кількість зразка може бути надійно визначено.

Результати вимірювання зберігаються щонайменше в більш ніж 3000 класах.[11]

Переваги аналізатора CAMSIZER P4:

- Повний діапазон виміру одночасно за 1 вимір
- Чудова сумісність з результатами розсіву, також для мультимодальних розподілень
- 2 повноформатні камери зі швидкістю 30 кадрів в секунду

- Імпульсний джерело світла з високою яскравістю і довгим часом життя
- Одночасний аналіз форми, розмірів, числа і щільності частинок
- Нова бібліотека зображень і можливість характеризувати частинок
- Нові можливості у визначенні форми частинок, зокрема параметра округлості відповідно до стандартів ISO 13503-2 та API RP 56/58/60
- Детальний аналізу розмірів частинок
- Можливість збереження результатів вимірювання більш ніж в 3000 класах.
- Великі можливості для відтворення результатів вимірювання
- Безконтактне вимірювання, без пошкодження зразка
- Легкість в управлінні
- Повністю автоматична процедура вимірювання
- Прекрасний дизайн, стійкий до вібрації і впливу пилу
- Немає необхідності в технічному обслуговуванні, догляді та очищенні[11]

Основні характеристики наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Технічні характеристики CAMSIZER P4:

Принцип вимірювання	Аналіз динамічних зображень відповідно до стандарту ISO 13322-2
Діапазон вимірів	20 мкм - 30 мм
Тип аналізу	Сухий аналіз порошків і гранул
Час вимірювання	~ Від 1 до 3 хвилин (в залежності від необхідної статистики вимірювань)
Методи вимірювання	60 зображень / с, кожне більш 780,000 ...
Габарити (Ш x В x Г)	850 x 650 x 350 мм
Вага (одиниці вимірювання)	40 кг
Прилад	Промисловий ПК, вкл. операційну систему

В даного приладу є суттєвий недолік, він спроможний обробляти тільки розмірні спектри сухих речовин, та не здатен проводити вимірювання суспензій та емульсій, також час на проведення одного вимірювання досить великий 1-3 хв, також відсутня система прокачування частинок, як наслідок відсутність неперервного режиму вимірювання.

Оссіho 500 NanoXY [12]

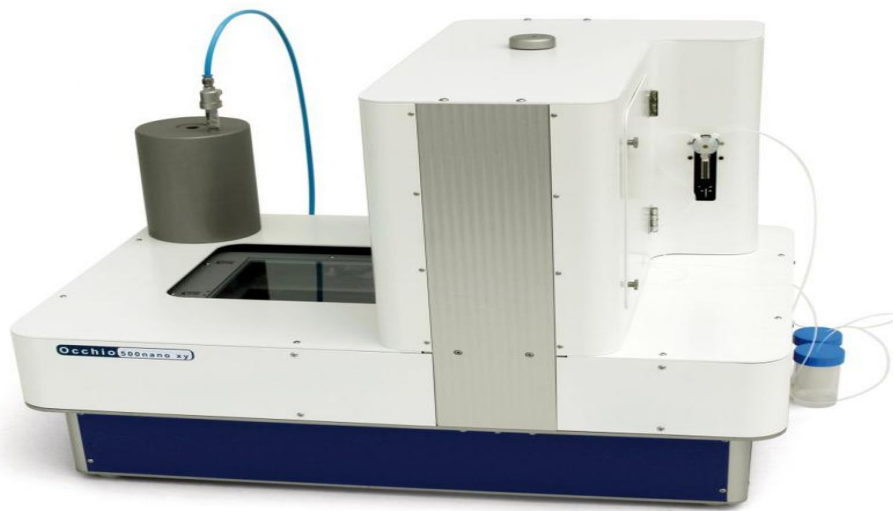


Рис 2.3 Макет вимірювальної установки Оссіho 500 NanoXY

У приладі реалізована технологія аналізу зображень як для сухих частинок так і для суспензій для аналізу розміру часток, їх форми та кольорової характеристики. Інтегрований вакуумний диспергатор.[12]

Вимірювані параметри:

- Розмір частинок
- Форма частинок
- Прозорість частинок
- Колір частинок(тільки для сухого блоку)
- Аналіз сухих порошків
- Аналіз суспензій та емульсій

Таблиця 2.3

Характеристики приладу Ossih 500 NanoXY

Діапазон розміру часток (сухий блок):	0.2 мкм до 3000 мкм
Діапазон розміру часток (вологий блок):	0.8 мкм до 300 мкм
Лампа	Інтегрована
Лампа для підсвічення	Інтегрована над лінзою
Система сухої дисперсії:	Інтегрований вакуумний диспергатор
Проточний блок:	шприцевий насос
Розмір предметного скла:	200 x 200 мм

Недоліками даного приладу являється відсутність документації, а отже, погана підтримка зі сторони виробника, не описаний процес вимірювання, в зв'язку з цим не можливо зробити висновки про швидкодію даного приладу.

Мікроскоп-аналізатор розміру і форми частинок BeVisionM1[13]



Рис 2.4 Макет вимірювальної установки BeVisionM1

Прилад BeVision M1 являє собою автоматичну сканує систему для аналізу чистоти фільтрувального паперу та інших матеріалів. Забезпечений металургійним мікроскопом, керованої моторизованої щаблем, автофокусом, високошвидкісною камерою ПЗЗ, прилад BeVision M1 фотографує і розпізнає буквально кожен частинку, автоматично склеюючи зображення в загальну панораму.

Області застосування:

Фільтрувальний папір, інші матеріали і частки. Рішення широких завдань в дослідницьких лабораторіях.[13]

Особливості:

- Вимірювання: форма частинок, розмір часток.
- Діапазон: від 1 мкм до 10 мм.
- Технологія: автоматичний аналіз зображень.
- Параметри: розподіл часток за розміром, максимальний розмір часток, ставлення крайніх розмірів, округлість і ставлення радіус-товщина.
- Панорамне зображення: в ході сканування певної ділянки проводиться покрокова фотозйомка, програмне забезпечення склеює окремі фотознімки в загальний єдиний панорамний знімок з високою роздільною здатністю.

Загальні характеристики:

- Вимірювані параметри: розмір часток, форма частинок.
- Діапазон вимірювання: 1-10000 мкм.
- Тривалість типового вимірювання: менше 10 хв.
- Камера зі швидкістю зйомки 120 кадрів / с.
- Швидкість вимірювання: 10000 частинок / хв.
- Похибка вимірювань: не більше 1%.
- Відтворюваність вимірювань: $\pm 1\%$.
- Збільшення: 30-1000х.

Оскільки даний прилад являє собою телевізійний мікроскоп, який в свою чергу досить габаритний та крихкий та має великі затрати часу на одне вимірювання, він підходить тільки для лабораторних досліджень, що не дасть нам можливості проводити вимірювання безпосередньо в момент проходження процесу виготовлення розчину.

Мікроскоп-аналізатор розміру і форми частинок BeVision S1.[14]



Рис 2.5 Макет вимірювальної установки BeVisionS1

Мікроскоп BeVision S1 використовує передову технологію автоматичного аналізу зображень для класичного мікроскопного методу для отримання інтуїтивно зрозумілого і точного розподілу часток за розміром.

Прилад BeVision S1 широко використовується в фотофіксації і аналізі форми частинок в розмелених абразивах, надтвердих матеріалах, металевих порошках.

Області застосування

Аналіз абразивів, магнітних порошків, цементів, інші матеріали і частки. Рішення широких завдань в дослідницьких лабораторіях.

Особливості

— Вимірювання: форма частинок, розмір часток.

- Діапазон: від 1-3000 мкм.
- Технологія: автоматичний аналіз зображень.
- Параметри: розподіл часток за розміром, максимальний розмір часток, ставлення крайніх розмірів, округлість і ставлення радіус-товщина.
- Обробка зображень: для поліпшення показності весь набір отриманих зображень аналізується одночасно для отримання достовірного розподілу часток за розмірами.
- Правильність визначення розміру часток досягається за допомогою калібрування по еталонному мікрометра.[14]

Технічні характеристики:

- Вимірювані параметри: розмір часток, форма частинок.
- Діапазон вимірювання: 1-3000 мкм.
- Тривалість типового вимірювання: менше 10 хв.
- Камера 5 МПіксель.
- Похибка вимірювань: не більше 3%.
- Відтворюваність вимірювань: $\pm 3\%$.
- Збільшення: Макс. 4000х.

Лазерна дифрактометрія також один з поширених методів контролю дисперсності з досить великою кількістю представників.

Аналізатор розміру часток AccuSizer 780 / SIS Syringe Injection Sampler забезпечує високу точність об'ємного дозування при проведенні аналізів з визначення розміру часток, в тому числі при контролі невидимих механічних фракцій у лікарських засобах для парентерального застосування відповідно до статті 2.9.19 Української Фармакопеї. Повністю автоматичний прилад безпосередньо вимірює розмір і кількість частинок без використання математичних моделей розподілу. Програмне забезпечення дозволяє конвертувати отримані дані в безліч інших розподілів (за обсягом, за площею поверхні, по відношенню обсяг / поверхню і т.д.).

AccuSizer 780 / SIS [15]



Рис 2.6 Макет вимірювальної установки AccuSizer 780 / SIS

AccuSizer 780 / SIS має 32 (задаються користувачем) каналу вимірювання, які одним натиском мишки можна перетворити в 512 каналів. Це дає можливість контролювати ступінь забруднення і визначати розмір часток, використовуючи один прилад, що важливо при визначенні причини забруднення.[15]

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювань за розміром 0.5-400 мкм;
- шприцевий Автосамплер для послідовного введення і розведення ін'єкційних препаратів;
- обсяг дози від 0,5 мл до 25 мл;
- похибка дозування не більше 5%;
- проточна кювета 400x1000 мкм;
- швидкість потоку до 10 - 60 мл / хв;
- програмне забезпечення відповідає вимогам FDA 21 CFR Part 11.

Прилади компанії Particle Sizing Systems широко використовуються для аналізу і наукових досліджень в:

- медицині та біології,
- фармацевтичної і харчової промисловості,
- лако-фарбової, косметичної промисловості,
- виробництві хімічних реагентів, полімерів, каталізаторів,
- виробництві напівпровідників і ін.

Даний прилад також розроблено спеціально для лабораторних досліджень, а отже має великі габарити та надає тільки первинні данні без будь якої математичної обробки, що без наявності висококваліфікованого спеціаліста неможливо обробити.

Аналізатор розміру часток Bettersizer ST [16]



Рис 2.7 Мкет вимірювальної установки Bettersizer ST

Bettersizer ST лазерний аналізатор розміру часток, який використовує для аналізу метод лазерної дифракції. Дозволяє проводити гранулометричний аналіз дисперсних систем. Інноваційні оптичні розробки аналізаторів серії Bettersizer ST забезпечують стабільні і надійні результати вимірювань з мінімальним втручанням користувача. А компактний розмір обладнання (660 мм x 420 мм) ST зберігає цінне робочий простір.[16]

Технічні характеристики:

Аналітична теорія Мі та теорія Фраунгофера

Швидкість вимірювання 3 кГц

Типовий час вимірювання ≤ 10 секунд

Діапазон вимірювання розмірів 0.1-1000 мкм

Похибка $\leq 1\%$

Відтворюваність $\leq 1\%$

Лазер 3 мВт, Напівпровідниковий волоконний лазер, 635 нм

Схема лінз одна лінза

Ефективна фокусна відстань 300 мм

детектор

Коректування траєкторії світла Інтелектуальна система автоматичної корекції

Тип диспергування рідинне

Система диспергирования Ультразвукова 50 Вт, 38 кГц,

Об'єм 600 мл

Даний прилад має всі необхідні параметри для контролю дисперсних розчинів в лабораторному режимі, але не має програмного забезпечення для швидкої обробки результатів та сигналізації при невідповідності певним заданим параметрам. Оскільки прилад розроблений для лабораторних вимірювань його надійність для використання на виробництві досить низька.

ВДС-1М

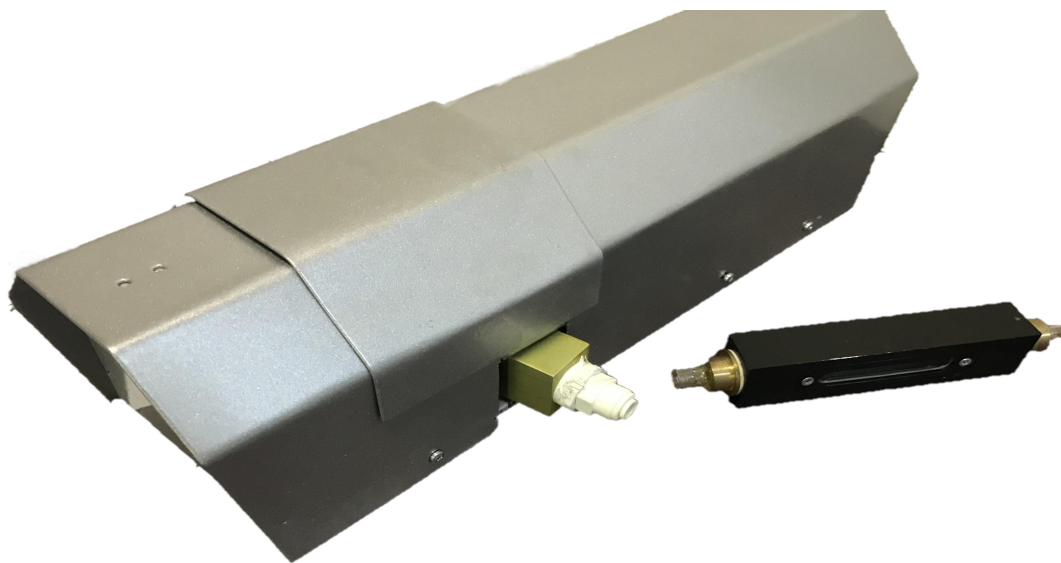


Рис 2.8 Макет вимірювальної установки ВДС-1М

Для вимірювання дисперсних характеристик (параметрів) об'єкта в приладі ВДС застосовується метод світлорозсіювання з подальшою комп'ютерною обробкою. В цій методикі джерелом світла є лазерний промінь з малою кутовою розходимістю. Промінь світла проходить через об'єкт і розсіюється на кут, обернено пропорційний діаметру центру світлорозсіювання центру, потрапляє на його шляху. За допомогою комп'ютера проводиться

обробка зображення і розраховується ослаблення. З зображення виходить індикатриса кутового розсіювання, а значення ослаблення випромінювання використовується для розрахунку дисперсних характеристик об'єкта, за допомогою математичної обробки накопичених даних.

Технічні характеристики:

Розмір вимірюваних малорозмірних частинок, мкм 0.5 - 70.

Об'ємна концентрація часток, мкм³ / см³ 1 - 10000.

Лічильна концентрація, частка / см³ 10 - 1000000.

Похибка вимірювань, % 15-25.

Режим роботи, безперервний і разовий.

Час на одне вимірювання... 1с

Даний прилад був створений спеціально для контролю параметрів дисперсних сумішей безпосередньо на виробництві, а отже має високу надійність. Перевагами даного приладу є малий час вимірювання та аналізу проби, достатня розмірна здатність, ціна, та можливість вимірювання в реальному часі(Система прокачки в комплекті).

Mastersizer 3000 [17]



Рис 2.9 Макет вимірювальної установки Mastersizer 3000

Лазерний дифракційну аналізатор розміру часток Mastersizer 3000 (лазерний гранулометрію) - це універсальний інструментарій для швидкого і точного гранулометричного аналізу (вимірювання розподілу часток за розмірами) суспензій, емульсій і сухих порошкоподібних матеріалів. Широкий діапазон, який перекриває розміри від міліметрів до нанометрів, виняткова продуктивність і надійні результати вимірювання, які не залежать від оператора - все це в виключно компактному корпусі.

Mastersizer 3000 - це останнє покоління найбільш популярного в усьому світі обладнання для визначення розмірів частинок. Поєднання висококласних інженерних рішень і значних методичних напрацювань компанії забезпечує наступне:

Виняткові характеристики лазерного гранулометрію в надзвичайно компактному корпусі

Інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення з вбудованим модулем експертної оцінки для спрощення Вашої роботи.

Редагована форма звітів для відображення даних у вигляді, зручному саме Вам.

Швидке і ефективне диспергування в рідині.

Швидке і надійне вимірювання розміру часток тендітних порошків і порошків, схильних до злипання.

Висока надійність результатів аналізу, завдяки досвіду компанії, втілених в лінійці Mastersizer[17]

Принцип роботи:

Mastersizer 3000 для визначення розміру часток (гранулометричного складу) використовує метод лазерної дифракції. В основі методу лежить вимірювання кутової залежності інтенсивності розсіяного світла, при проходженні лазерного променя через диспергований зразок. З використанням теорії светорассеяния визначають розміри частинок, які формують індикатрисы розсіювання, збігається з вимірами даними про кутової залежності інтенсивності розсіяного світла.

Типова система складається з трьох основних елементів:

- Оптичний блок містить вимірювальну зону, в якій диспергований зразок потрапляє під промінь лазера. Набір детекторів вимірює інтенсивність світла, розсіяного частинками диспергує проби, на довжині хвилі червоної та синьої частини спектра і в широкому діапазоні кутів.

- Диспергатори. Для диспергування і подачі проби в зону вимірювання використовують серію диспергаторов, що дозволяють проводити вимірювання як в рідині так і в повітрі. Диспергатори забезпечують стабільну, коректну концентрацію належним чином диспергированного зразка в вимірювальній зоні оптичного модуля в момент вимірювання.

- Програмне забезпечення. Програмне забезпечення Mastersizer 3000 контролює систему в процесі вимірювання і проводить аналіз даних светорассеяния для розрахунку розподілу часток за розмірами. Воно забезпечує

зворотний зв'язок під час вимірювання / відпрацювання методики і можливість експертної оцінки результатів.[17]

Характеристики:

Основні параметри

Розмір частинок (гранулометричний склад):

Суспензії, емульсії, сухі порошки

принцип:

лазерна дифракція

аналіз:

Теорія Мі, наближення Фраунгофера

Частота реєстрації даних:

10 кГц

Тривалість стандартного вимірювання:

<10 секунд

Габарити (Ш, Г, В):

690 мм x 300 мм x 450 мм

вага:

30 кг

Параметри оптичної системи

Джерело червоного світла:

Максимальна потужність 4 мВт, He-Ne лазер, 632.8 нм

Джерело синього світла:

Максимальна потужність 10 мВт, напівпровідниковий лазер, 470 нм

Фокусна відстань лінзи: 300 мм

Детектор

Розташування елементів:

логарифмічні інтервали

Кутовий діапазон реєстрації розсіяного світла:

0.015 - 144 градусів

Оптична юстирування:

автоматично

Розмір частин

Розмір частинок (гранулометричний склад):

0.01 - 3500 мкм *

Кількість розмірних класів:

100 (можлива додаткова настройка користувачем)

точність ::

Краще ніж 0,6% **

Точність / повторюваність:

Краще ніж 0.5% *

відтворюваність:

краще ніж 1% *

Програмне забезпечення

21 CFR Частина 11:

Можлива робота в режимі створення електронних записів / електронних підписів (ER / ES).

Відповідність директивам ЄС

Лазерна безпека:

Клас 1 згідно IEC60825-1: 2007 і частини 1040 підглави J глави I CFR (CDRH)

нормативи:

Відповідність RoHS і WEEE відповідність CE / FCC Відповідність вимогам європейської директиви пристрій низького струму

Модуль

Джерело живлення:

100/240 В, 50/60 Гц 50 Вт (без підключених диспергаторов) Не більше 200 Вт (підключені 2 диспергатора)

Вологість:

Не більше 80% при температурі до 31 ° C з лінійним зниженням до 50% при температурі 40 ° C Без конденсації.

Робоча температура (° C):

Від + 5 ° C до + 40 ° C

Температура зберігання:

Від -20 ° C до + 50 ° C

Клас захисту від зовнішніх впливів (IP):

IP41B

Прилади для ультразвукового контролю дисперсності:
Hielscher UIP500hdT[18]



Рис 2.10 Макет вимірювальної установки Hielscher UIP500hdT

Потужний ультразвук з повним управлінням процесом Потужність ультразвуку - це технологічне рішення для різних рідинних застосувань, таких як емульгування , зменшення розміру частинок , подрібнення або розчинення . UIP500hdT забезпечує інтенсивні ультразвукові хвилі, що генерують сильну кавітацію.

Ультразвукова кавітація і зусилля, що виникають в результаті зсуву, без проблем виконують вимогливі завдання. Щоб гарантувати стабільну якість процесу , важлива не тільки реальна потужність ультразвуку, а всі важливі параметри процесу повинні контролюватися.

Нове покоління hdT ультразвукових процесорів дозволяє користувачеві управляти ультразвуковою системою через сенсорний дисплей або пульт дистанційного керування браузера. Всі відповідні параметри процесу - такі як амплітуда, час ультразвуку, температура та тиск - автоматично записуються та зберігаються як файл CSV на інтегрованій SD / USB ComboCard.

Таким чином, новий UIP500hdT забезпечує таку ж потужність ультразвуку, що і його попередник UIP500hd, але відрізняється широким

спектром додаткових функцій, що робить процес ультразвуку набагато зручнішим для користувачів. З оперативного погляду точний контроль усіх параметрів ультразвукового процесу є абсолютними ключовими функціями.[18]

Особливості UIP500hdT:

- Потужність ультразвуку потужністю 500 Вт побудований для важкої експлуатації
- Працює 24/7
- Промисловий стандарт
- Кольоровий сенсорний дисплей
- Пульт дистанційного керування браузера
- Запис даних інтегрована SD / USB
- ComboCard температурний сенсор
- Датчик тиску (опціонально)
- LAN з'єднання Ethernet-з'єднання
- Немає встановлення програмного забезпечення автоматична настройка частоти

До переваг даного приладу можна віднести можливість роботи без вимкнення та доступ до даних з приладу через мережу інтернет, як недолік повна відсутність програмного забезпечення, збереження протоколу без надання можливості його подальшої обробки.

Після аналізу вже існуючих установок для контролю розмірних спектрів можна зробити декілька висновків:

1. Жоден з зазначених приладів не надає можливості контролю технічного процесу в реальному часі.
2. Повністю відсутня система сигналізації при відхиленні від процесу виробництва.
3. Всі прилади в кінці вимірювання видають протокол даних без їх наочного зображення та розшифровок, що не дає можливості контролю якості

навіть в лабораторних умовах без наявності спеціалісту в даній області та по даному розчину.

Висновок: Проаналізувавши вимірювальні установки був обраний метод лазерної дифрактометрії через широкий спектр вимірюваних розмірів (рис 1.1) частинок, відсутність необхідності попередньої обробки проби та високі показники швидкодії даного методу. З асортименту приладів які працюють на даному методі була обрана установка ВДС-1М через пристосованість до вимог реального виробництва та можливості застосування її для вимірювання в реальному часі..

Отже, необхідно ознайомитися з можливостями обраної вимірювальної установки, її будовою, з'ясувати формат протоколу вимірювань та загальну кількість інформативних параметрів.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ОБРАНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Необхідно продемонструвати можливості вимірювальної установки, ознайомитися з протоколом та форматами в яких його можливо представити.

3.1. Аналіз можливостей вимірювальної установки

Лазерна дифракція, також відома як метод малокутового розсіювання, стала пріоритетним методом визначення гранулометричного аналізу в багатьох областях промисловості. Стандарт ISO13320:2020 [43], який присвячено саме цьому методу, регламентує вимірювання для діапазону від 0,1 до 3000мкм (див. табл 1.1).

Принципово аналізатор складається з наступних основних вузлів:

1. Лазер або джерело когерентного випромінювання. Напівпровідниковий лазер з потужністю 1-2 міліват з довжиною хвилі 656 нм
2. Детектор. Використовується багатоелементна кремнієва фотодіодна матриця. Детектор з хорошим динамічним діапазоном, що складається з 240-480 елементів, забезпечує оптимальну роздільну здатність, при цьому збільшення кількості елементів, як показала практика, не призводить до кардинального збільшення даного параметру.
3. Метод подачі зразка в зону вимірювання. Рідина для вимірювання поступає через проточну кювету та проходить через лазерний промінь.

Перебуваючи в кюветі, (в зоні вимірювання, на шляху лазера), частки розсіюють світло. Індикатриса розсіювання, (кутова залежність інтенсивності розсіяного випромінювання), визначається розміром частинок, їх оптичними характеристиками і довжиною хвилі лазера (яка є постійною). Вимірювання

індикатриси і подальша обробка результатів дозволяє визначити характер розподілу частинок за розмірами, (дисперсний склад), даної системи.

Експериментальні значення індикатриси розсіяння виходять в результаті усереднення даних про світло розсіяння, що реєструються з частотою 1 кГц. Встановивши програмно тривалість аналізу близько 20 секунд, фактично виконується 20 000 вимірювань. Жоден з традиційних методів дисперсного аналізу, (Седиментаційних, ситової, мікроскопія), не дозволяють за такий короткий проміжок часу виконувати таку кількість вимірювань.

Крім того, при дослідженні, наприклад, суспензій і емульсій, за 1 хвилину всі досліджувані частки встигають пройти через вимірювальну кювету багато разів, що забезпечує отримання стійких і у високому ступені відтворюваних результатів.

Величезною перевагою такої швидкості аналізу, стає можливість не тільки контролю необхідної дисперсності матеріалу, але і спостереження в режимі реального часу за процесами агрегації,

Процедура відновлення розподілу часток за розмірами за даними кутовий залежності розсіяного світла, проводиться ПО аналізатора на підставі оптичної моделі:

- повної теорії Мі
- наближення Фраунгофера

Наближення Фраунгофера є окремим випадком теорії Мі, в основі якого лежать такі припущення:

1. Розмір частинок значно більше довжини хвилі використовуваного світла (ISO13320 позиціонує близько 25мкм, при цьому нижня межа діапазону коректного аналізу порядку 3мкм при використанні He-Ne лазера).
2. Частинки різних розмірів розсіюють світло з однаковою інтенсивністю.
3. Частинки світлонепроникності.

Використання теорії з такими обмеженнями буде некоректним для багатьох матеріалів, а для тонкодисперсних систем використання наближення може стати причиною отримання неправильних результатів, помилка яких може досягати 30%, (наприклад, коли коефіцієнти заломлення частинок і середовища, в якій вони перебувають, мають близькі значення) . Якщо розмір часток порядку довжини хвилі використовуваного світла, індикатриса розсіювання є складною функцією. А для адекватного аналізу такої картини підходить тільки повна теорія Мі. Більш того, теорія Мі розглядає обсяг частинок, в той час як наближення Фраунгофера базується на площі проекції. Відповідно до ISO13320 саме використання теорії Мі як оптична моделі дозволяє отримати точне рішення в широкому діапазоні, (наприклад, 0,02 - 2000мкм).

Отже, можна відзначити наступні переваги методу лазерної дифракції:

- Метод заснований на фундаментальних принципах. Калібрування приладу, конструктивно реалізованого відповідно до ISO13320, не потрібно. Можна лише перевірити якість функціонування аналізатора, за допомогою вимірювання стандартних зразків, (верифікація).

- Широкий динамічний діапазон. Інструментарій дозволяє вимірювати розміри частинок в діапазоні від 0,1 до 2000мкм. Частинки меншого розміру, (1нм - 1мкм), аналізують методом динамічного світлорозсіювання, (фотонної кореляційної спектроскопії), і результати будуть об'єктивними до тих пір, поки в системі переважає хаотичне Броунівський рух, і частки не седіментірують.

- Універсальність. Можливість аналізу суспензій, емульсій, порошкоподібних матеріалів в сухому вигляді, аерозолів і спреїв.

- Наприклад, можливо вимірювати гранулометричний склад фарб і лаків, які розпилюються форсунками різного типу. Зокрема, це використовується розробниками форсунок і пульверизаторів для досягнення необхідного розміру розпилюються частинок, шляхом оптимізації в'язкості, тиску і розмірів випускних отворів.

— Методика аналізу знайшла широке застосування в безлічі галузей виробничої і дослідницької діяльності [19, 20, 21]. Один зі стандартів ASTM присвячений аналізу спреїв методом лазерної дифракції.

— Можливо безпосереднє вимірювання гранулометричного складу сухих порошків, однак, не для будь-якої системи можна домогтися якісного диспергування. Поряд з аналізом суспензій, результат може виявитися інформативним для оцінки кількості агломерированного матеріалу в сухий фазі.

— Вимірювання частинок суспензій і емульсій відбувається через рециркуляцію проби через вимірювальну кювету, що дозволяє отримувати високу відтворюваність результатів, використовувати диспергуючі добавки і поверхнево-активні речовини, (наприклад, Калгон, Твін і ін.), Для оптимізації диспергування.

— Аналізується весь зразок. Незважаючи на малу кількість, необхідне для аналізу матеріалу, (зазвичай 4-10г для сухого вимірювання і 1-2г для мокрого) .ю весь матеріал проходить через промінь лазера і враховується внесок кожної частки. З урахуванням обсягів досліджуваних зразків, особливу увагу варто приділяти показності пробовідбору.

— Метод не руйнує не інвазивний. При певних умовах, наприклад, дорогі зразки можуть бути відновлені і використані після аналізу.

— Спочатку одержуваних є результат у вигляді об'ємного розподілу, яке за умови сталості щільності еквівалентно масового. А це саме те розподіл, яке найбільш інформативно для інженера хіміка або технолога.

— Швидкість отримання результатів досить висока, (менше однієї хвилини). Це обумовлює можливість швидкого зворотного зв'язку для оптимізації технологічних процесів і простоту повторних вимірів.

— Висока надійність і повторюваність результатів. Це забезпечує гарантію того, що змінився показник характеризує саме зміна характеристик виробу і не є наслідком «приладового дрейфу».

— Висока роздільна здатність приладів.

Огляд макету вимірювача часток дисперсних розчинів на базі лазерного аналізатору дисперсності ВДС-1М

Для отримання масиву даних що відповідає концентраціям і розмірним спектрам мілкодисперсних частинок зольної природи в дисперсних розчинах на інтервалі розмірів 0,05 - 120 мкм було застосовано макет вимірювальної установки на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДС-1М, оптична схема якого показана на рис. 3.1[22].

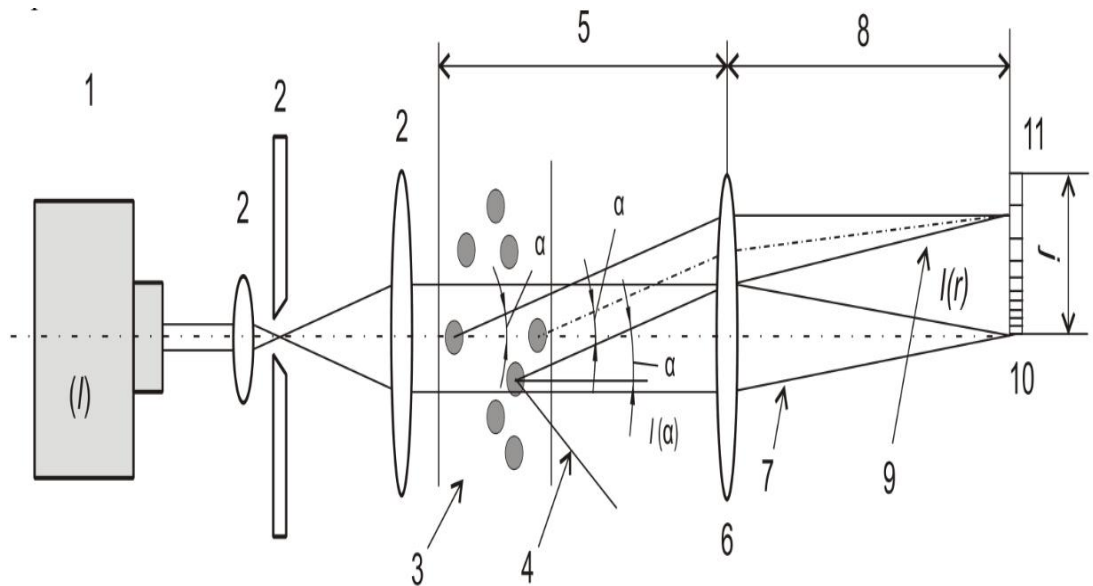


Рис .3.1 Оптична схема вимірювача дисперсності ВДС-1М: 1 - джерело лазерного випромінювання, 2 - модуль обробки лазерного випромінювання, 3 - частинки, 4 - розсіяне світло, не зібране лінзою (6), 5 - робоча відстань лінзи (6), 6 - лінза Фур'є, 7 - прямий промінь, 8 - фокусна відстань лінзи (6), 9 - розсіяний промінь, 10 - детектор затемнення, 11 – багатоелементний детектор.

Вимірювач дисперсності «ВДС-1М» (рис. 2.8) призначений для вимірювання середнього діаметра (D_{avr}), кількісної (N_{sm3}), об'ємної концентрації ($W\%$) малорозмірних частинок, присутніх в повітрі і рідких розчинах. Інформація про фізичні параметри частинок, що знаходяться в повітрі, розчинах, емульсіях - вимірюється, обробляється і реєструється у вигляді таблиці даних в форматах "csv" та "xls". Протокол містять інформацію

про дату, час і дискретність вимірів, а також числові характеристики об'єкта дослідження.

Розсіяне випромінювання реєструється під кутом розсіювання 45° . Такий кут розсіювання обраний з метою мінімізації помилок у показаннях лічильників. Рахункова концентрація розраховується як кількість імпульсів (подій) n при проходженні частинок в робочому обсязі за певний період часу T .

Розрахунок залежності амплітуди розсіяного випромінювання для заданого кута реєстрації від діаметра частинки (при відомому комплексному показнику заломлення матеріалу частинки і середовища) розраховували виходячи з теорії Мі [21, 22].

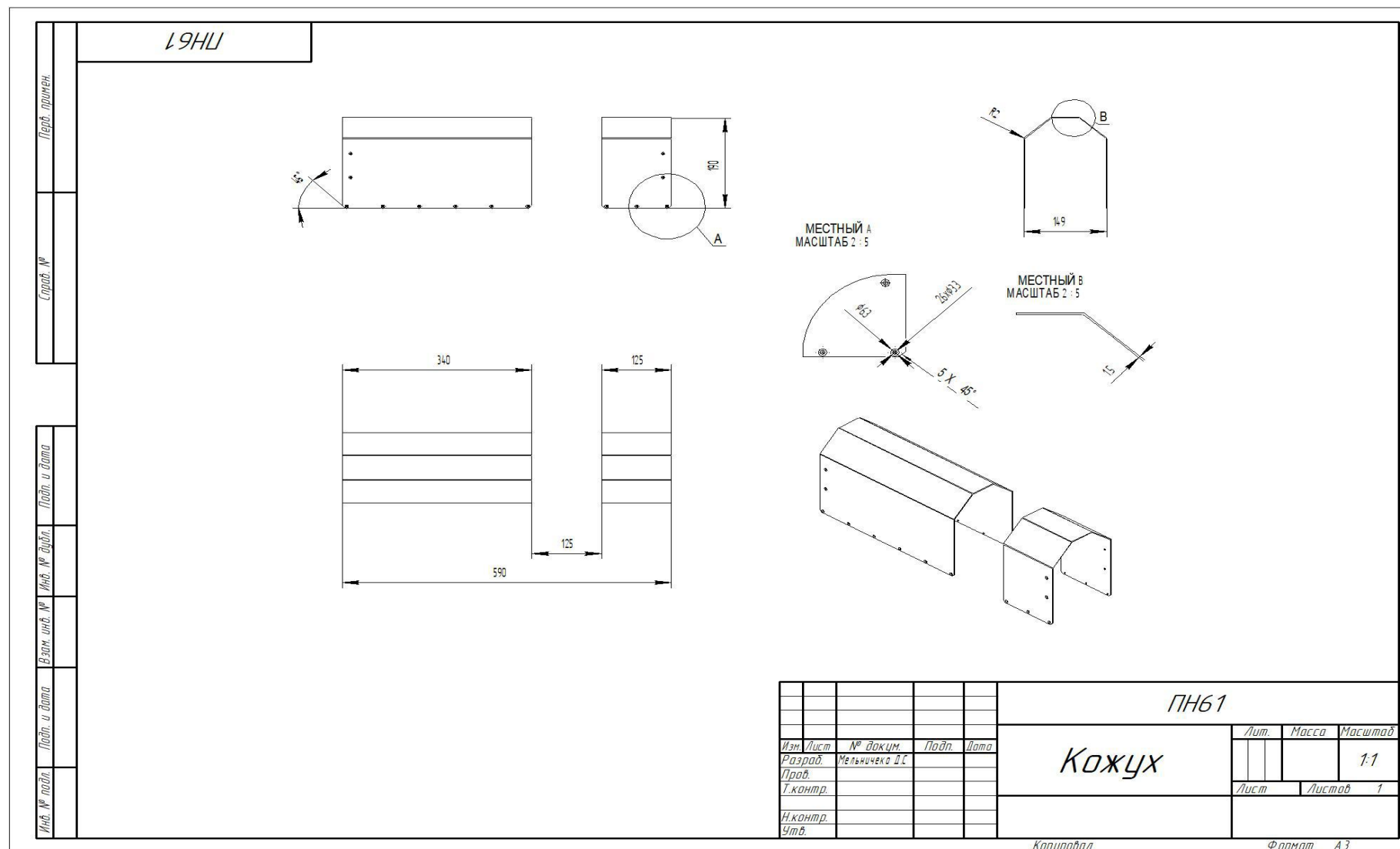


Рис 3.3 Кожух вимірювальної установки ВДС-1М

Принцип роботи ВДС-1М заснований на методі малокутового розсіювання лазерного світла. При кутах $\sin(\varphi) \approx \varphi$ індикатор розсіювання $I(\beta)$ на ансамблі частинок плоскої електромагнітної хвилі дорівнює [20, 21, 24]:

$$I(\beta) = \frac{C}{\beta} \cdot I_0 \cdot \int_0^\infty f(\rho) \cdot \rho^2 \cdot J_1^2(\rho\beta) d\rho \quad (3.1)$$

де β – безрозмірний параметр;

d – діаметр частинок;

λ – довжина хвилі випромінювання;

β – кут розсіювання;

J_1 – функція Бесселя першого порядку;

$f(\rho)$ – щільність розподілу часток за розмірами;

C – апаратна постійна;

I_0 – інтенсивність зондуючого випромінювання.

Функція $f(\rho)$ вимірюється по вимірній індикатрисі розсіювання з наступних виразів [20]:

$$f(\rho) = -\frac{\bar{C}}{\beta} \cdot \int_0^\infty h_T(\rho\beta) \cdot T(\beta) d\beta, \quad (3.2)$$

$$h_T(\rho\beta) = -2 \cdot \pi \cdot Y_1(\rho\beta) \cdot [2\rho\beta J_0(\rho\beta) - J_1(\rho\beta)]^{-4}, \quad (3.3)$$

$$T(\beta) = \Theta(\beta) - \Theta(\infty), \quad (3.4)$$

$$\Theta(\beta) = I(\beta) \cdot \beta^3, \quad (3.5)$$

де Y_1 – функція Неймана першого порядку;

J_0 – функція Бесселя нульового порядку.

Рахункова концентрація частинок і нормування функції $f(\rho)$ обчислюється і проводиться за допомогою закону Бугера – Бера, з якого випливає, що [24]:

$$N = K \cdot d \cdot L^2 \cdot \pi \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right), \quad (3.6)$$

$$\int_0^\infty f(\rho) d\rho = \frac{\pi \cdot K}{L \cdot \lambda^2 \cdot \rho^2} \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (3.7)$$

де N – рахункова концентрація часток в розчині;

L – довжина робочого проміжку;

I_0 – інтенсивність зонduючого випромінювання;

I – інтенсивність зонduючого випромінювання, що пройшов через досліджуване середовище;

K – коефіцієнт екстинкції.

Для спрощення розрахунків на комп'ютері можна перейти до об'ємної функції розподілення мілкодисперсних часток в усьому об'ємі розчину $W(\rho) \sim N(\rho) \cdot \rho^3$. В цьому випадку, при допущенні про кусочно-лінійний характер функції $W(\rho)$ завдання визначення об'ємної концентрації часток в розчині зводиться до рішення системи лінійних рівнянь [21]:

$$E = A \cdot W \quad (3.8)$$

де E – вектор сигналу вимірювання;

A – матриця коефіцієнтів;

W – вектор дискретної функції $W(\rho)$. Як дифракційний аналізатор дисперсності високого дозволу використана Web-камера.

Перед вимірюванням проводиться визначення фонового сигналу, а потім сигнал при наявності мілкодисперсних часток рідкому середовищі. Перетворені в матричну форму зображення віднімаються одне з одного. Результатом віднімання є нове зображення, яке, в свою чергу, ділиться на 100 рівних фрагментів в межах кутів спостереження $=0,0034 \dots 0,156$ рад. Елементи матриці кожного з фрагментів підсумовуються, з них формується вектор сигналу вимірювача E . Елементи матриці коефіцієнтів A розраховуються. Далі вирішується система лінійних рівнянь (3.1.8). При проведенні операції згладжування знаходимо масив числових значень для об'ємної та лічильної концентрації частинок в розчині через певні, строго дискретні проміжки часу. Після чого масив даних експортується в текстовий файл або в таблицю формату [22, 25].

Для вимірювання дисперсних характеристик (параметрів) об'єкта в приладі ВДС-1М застосовується метод світлорозсіювання з подальшою комп'ютерною обробкою. У цій методиці джерелом світла є лазерний промінь з

малим кутовим розходженням. Промінь світла проходить через об'єкт і розсіюється на кут, обернено пропорційний діаметру світлорозсіючого центру, що потрапляє на його шляху. Об'єктив збирає випромінювання на екрані, причому основний промінь (нульовий канал) потрапляє на світлоприймач, який вмонтований в екран. Зображення на екрані сканується відеокамерою, сигнал від якої потрапляє в комп'ютер. З зображення виходить індикатриса кутового розсіювання, а значення ослаблення випромінювання використовується для розрахунку дисперсних характеристик об'єкта. Для виключення впливу приладових похибок, застосовується двоступеневий метод вимірювання [26]

3.2. Вибір вимірювальних параметрів частинок дисперсних розчинів

У разі роботи з полідисперсною системою її характеристики доцільно описувати мінімальним набором параметрів що характеризують цю систему і відповідають вимогам максимально можливої сукупності параметрів, та найбільш повно відображають вплив цієї системи на той чи інший фізичний, хімічний чи біологічний об'єкт. Таким чином вводиться поняття – «дисперсні характеристики» або «параметри» – кількісні характеристики «подрібнення твердих або рідких тіл» [27].

До основних дисперсних характеристик варто віднести:

- «розмір» частинок (в одиницях довжини) [μm];
- функція розподілу частинок по розмірах(d) – відносна величина;
- об'ємна функція розподілу – функція розподілу частинок по їх об'ємах ($\pi \cdot d^3/6$);
- рахункова концентрація частинок (в кількості частинок на одиницю об'єму);
- питома площа поверхні частинок (в одиницях площі на одиницю об'єму);
- об'ємна концентрація частинок (в одиницях об'єму частинок на одиницю об'єму);
- масова концентрація частинок (в одиницях маси частинок на одиницю об'єму) [27];

Рахункова концентрація частинок (кількість частинок на одиницю об'єму) N визначається з рівняння Бугера – Бера (вирази 3.6 та 3.7) [25]:

$$N = \frac{2 \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{\pi \cdot d^2 \cdot L} [\text{cm}^{-3}], \quad (3.9)$$

де I_0 – інтенсивність зондуючого випромінювання,

I – інтенсивність пройденого середовище товщиною L випромінювання,

d^2 – квадрат середнього розміру часток, який визначається з функції розподілу часток за розмірами.

Питома площа поверхні частинок (в одиницях площі на одиницю об'єму) визначається за формулою:

$$S = \frac{N \cdot \pi \cdot d^2}{N \cdot d^3 \cdot \pi} \cdot 6 [\text{cm}^{-1}], \quad (3.10)$$

Об'ємна концентрація часток (в одиницях об'єму частинок на одиницю об'єму);

$$M = \frac{2 \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \cdot d}{\pi \cdot L} [\text{mm}^3 / \text{sm}^3] (\text{W}\%), \quad (3.11)$$

Питому площу поверхні частинок (в одиницях площі на масу частинок) можна виразити:

$$S_1 = \frac{N \cdot \pi \cdot d^2}{\rho \cdot N \cdot d^3 \cdot \pi} \cdot 6 [\text{cm}^{-1}], \quad (3.12)$$

де ρ - питома щільність матеріалу частинок, mg/mm^3 [22, 26].

Діапазони вимірюваних параметрів мілко дисперсних часток в олійній дисперсній фазі отриманих лазерним вимірювачем дисперсності ВЛД-1М та їх похибки вказані в таблиці. 3.1:

Лазерний вимірювача дисерсності ВДС-1М формує масив даних в форматі «csv», «xls», «xlsx», що відповідають змінам відповідних параметрів на зазначеному (фіксованому) проміжку часу. Особливість наведених форматів даних в тому, що їх перезапис займає досить малий проміжок часу, що дає можливість оновлення даних в протоколі з мінімальними затримками. В якості вихідних даних було обрано такий масив параметрів: середній діаметр (D_{avr})

частинок, кількість частинок певного розміру в розчині (N_{sm3}), об'ємна концентрації ($W\%$), питома площу поверхні (Sl) малорозмірних частинок зольної природи.

Таблиця 3.1

Вимірювальні параметри зольних фракцій розчинів отриманим лазерним вимірювачем дисперсності ВДС-1М [22].

Вимірювальні параметри	Діапазон вимірювальних параметрів	Межі основної відносної похибки, %
1	2	3
Середній діаметр частинок за діапазонами, мкм	1÷120 в тому числі по діапазонах, 1÷70 70÷160	15 25
Рахункова концентрація зважених часток, шт/см ³	30 – 5×10 ⁶	15
Об'ємна концентрація зважених часток, %	2×10 ⁻³ – 30	15

У таблиці 3.2, та протоколі 3.1 показано масив даних розмірного параметру «лічильна концентрація часток (N_{sm3})» по середньому діаметру (D_{avr}). Кожен стовпець масиву відповідає певній кількості концентрації часток (N_{sm3}) заданого діапазону розмірного параметру «середній діаметр (D_{avr})». Кожен рядок масиву відповідає вимірюванню через заданий фіксований проміжок часу.

Для виключення впливу приладових похибок у макеті вимірювальної установки на базі лазерного вимірювача дисперсності ВДС-1М застосовується двоступеневий метод вимірювання:

- проводиться вимірювання «фону» (вимірювання без об'єкту);
- запам'ятовування «фону»;
- вимірювання розмірних показників об'єкту;

- віднімання із характеристик об'єкту характеристик фону;
- математична обробка накопичених даних;
- вивід результатів в одному із вищезазначених форматів даних.

Протокол 3.1

Формат масиву даних розмірних параметрів зольних фракцій розчинів сформований вимірювачем ВДС-1М в форматі csv.

$??;???;0.5_2.5;2.5_6;6_12;12_20;20_30;30_40;40_50;50_60;60_70;70_80;80_90;90_100;100_110;110_120;120_130;130_160;0.5_2.5;2.5_6;6_12;12_20;20_30;30_40;40_50;50_60;60_70;70_80;80_90;90_100;100_110;110_120;120_130;130_160;D_{avr};N_{cm3};W_{\%};S_{cm1};Ln(I0/I1);Max_Ampl;Variation;DP_min;Ident-1;S_{active}$

*06.04.2020;22:00:23;46.661;3.672;26.662;15.765;4.761;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;
0;99.779;0.131;0.082;0.007;0.001;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;5.29236;10803.75;0.08385;
2.37664;0.5704;0.206;0.68357;2;Ident-1;2601.74477*

06.04.2020;22:00:33;0;
0;0;0;0;0;0;0;0;2.38932;0.5734;0;0.78973;2;Ident-1;2615.63311

06.04.2020;22:00:43;0;
0;0;0;0;0;0;0;0;0;2.26275;0.5431;0;0.83575;2;Ident-1;2477.06675

06.04.2020;22:00:53;0;
0;0;0;0;0;0;0;0;2.22055;0.5329;0;0.82166;2;Ident-1;2430.87811

06.04.2020;22:01:03;32.512;14.245;30.531;3.662;13.568;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;99.137;0.724;0.135;0.002;0.002;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;4.73184;12416.655;0.0688
8;2.1835;0.524;0.106;0.74167;2;Ident-1;2390.31789

06.04.2020;22:01:13;39.169;10.613;29.823;4.029;10.302;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;99.438;0.449;0.11;0.002;0.001;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;4.83042;11528.443;0.06803;2.11266;0.507;0.192;0.58802;2;Ident-1;2312.76706

06.04.2020;22:01:23;39.778;10.234;29.751;4.1;10.06;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;9
9.462;0.426;0.108;0.002;0.001;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;4.85003;11013.983;0.06579;2.
03481;0.4884;0.197;0.37512;2;Ident-1;2227.53768

Таблиця 3.2

Формат масиву даних розмірних параметрів зольних фракцій розчинів сформований вимірювачем ВДС-1М в форматі xls.xlsx

Дата	Время	2.5_6	2.5_6	6_12	12_20	20_30	30_40	40_50	50_60
15/02/2020	17:28:02	12.561	0.322	22.678	14.708	20.225	11.308	8.287	8.405
15/02/2020	17:43:02	12.893	0.331	22.648	14.649	20.315	11.225	8.36	8.43
15/02/2020	17:58:02	12.688	0.325	22.563	14.694	20.639	11.19	8.254	8.24
15/02/2020	18:13:03	11.492	0.297	23.053	15.246	20.971	10.818	8.008	7.671
15/02/2020	18:28:02	11.341	0.292	23.092	15.177	20.644	10.391	8.173	7.737
15/02/2020	18:43:03	12.383	0.317	22.444	16.176	21.663	10.192	8.038	6.288
15/02/2020	18:58:02	32.768	1.02	19.562	23.417	25.095	5.178	5.038	1.719
15/02/2020	19:13:02	37.738	1.131	16.822	24.68	24.362	2.298	5.855	5.308
15/02/2020	19:28:02	38.14	1.128	16.446	24.445	23.611	2.614	6.032	4.475
15/02/2020	19:43:02	37.402	1.073	16.197	23.061	25.928	1.92	6.631	5.92
15/02/2020	19:58:02	39.349	1.22	17.16	23.094	26.449	2.176	3.737	4.244
15/02/2020	20:13:02	39.836	1.226	16.807	23.647	24.404	2.891	5.257	3.683
15/02/2020	20:28:03	41.73	1.285	16.055	24.514	22.896	2.941	6.552	2.981
15/02/2020	20:43:03	43.811	1.272	14.28	23.456	24.1	3.908	7.145	4.934
15/02/2020	20:58:03	38.613	1.076	15.026	24.434	25.282	1.354	7.206	5.221

15/02/2020	21:13:03	35.85	0.956	15.393	22.708	21.851	3.026	7.68	6.611
15/02/2020	21:28:02	40.091	1.173	15.707	23.491	23.648	1.527	7.664	4.143
15/02/2020	21:43:02	40.652	1.229	16.091	24.284	22.988	2.184	6.727	4.962
15/02/2020	21:58:03	38.429	1.119	16.238	23.381	22.195	2.527	7.058	5.256
15/02/2020	22:13:02	45.955	1.427	14.795	23.874	23.232	2.583	7.871	4.129
15/02/2020	22:28:03	39.123	1.043	14.491	21.542	23.095	3.738	9.467	6.24
15/02/2020	22:43:03	38.557	1.076	15.291	23.552	22.636	2.236	6.643	6.732

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНОСТІ РОЗЧИНІВ

Для розробки програмного додатку необхідно проаналізувати поставлене технічне завдання та обрати технології для його реалізації.

4.1. Технології використані в розробці

Для розробки програмного додатку контролю дисперсності розчинів було використано мову програмування Java версії 10.0 з бібліотекою JavaFX та технологію реактивного програмування JavaRx2.0

Java - об'єктно-орієнтована мова програмування, що розробляється компанією Sun Microsystems з 1991 року і офіційно випущений 23 травня 1995 року. Спочатку нову мову програмування називався Oak (James Gosling) і розроблявся для побутової електроніки, але згодом був перейменований в Java і став використовуватися для написання аплетів, додатків і серверного програмного забезпечення. Програми на Java можуть бути трансльовані в байт-код, що виконується на віртуальній java-машині (JVM) - програмою, обробній байт-код і передавальній інструкції обладнанню, як інтерпретатор, але з тією відмінністю, що байт-код, на відміну від тексту, обробляється значно швидше.[43]

Мова Java була створена переважно для написання передового програмного забезпечення різних побутових приладів Реалізація проєкту була почата на мові C ++ , але незабаром виник ряд проблем, найкращим засобом боротьби з якими була зміна самого інструмента - мови програмування.

Необхідна платформи-незалежна мова програмування, що дозволяє створювати програми, які не доводилося б компілювати окремо для кожної архітектури і можна використовувати на різних процесорах під різними операційними системами.

Фактично, більшість архітектурних рішень, прийнятих при створенні Java, було прийнято через бажання надати синтаксис, схожий з C і C ++. В Java використовуються практично ідентичні угоди для оголошення змінних, передачі параметрів, операторів та управління потоком виконання коду.[43] В Java додано все що робить C хорошою мовою програмування, та інструменти яких не вистачало даній мові.

Три ключові елементи об'єдналися в технології мови Java:

- Java надає для широкого використання свої аплети (applets) - невеликі, надійні, динамічні, які не залежать від платформи активні мережеві додатки, що вбудовуються в сторінки Web. Аплети Java можуть налаштовуватися і поширюватися споживачам з такою ж легкістю, як будь-які документи HTML

- Java вивільняє міць об'єктно-орієнтованої розробки додатків, поєднуючи простий і знайомий синтаксис з надійним і зручним в роботі середовищем розробки. Це дозволяє широкому колу програмістів швидко створювати нові програми і нові аплети.

- Java надає програмісту багатий набір класів об'єктів для ясного абстрагування багатьох системних функцій, використовуваних при роботі з вікнами, мережею і для введення-виведення. Ключова риса цих класів полягає в тому, що вони забезпечують створення незалежних від використовуваної платформи абстракцій для широкого спектра системних інтерфейсів[28, 44]

JavaFX - це бібліотека Java, яка використовується для створення багатофункціональних інтернет-додатків. Програми, написані з використанням цієї бібліотеки, можуть працювати на різних платформах. Додатки, розроблені з використанням JavaFX, можуть працювати на різних пристроях, таких як настільні комп'ютери, мобільні телефони, телевізори, планшети та інші.

Нижче наведені деякі важливі функції JavaFX.

- JavaFX написана на Java і доступна для мов, які можуть бути виконані на JVM, включаючи Java, Groovy і JRuby . Ці додатки JavaFX теж не залежать від платформи.

- FXML - JavaFX має мову, відомий як FXML, який є HTML-мовою декларативною розмітки. Єдина мета цієї мови - визначити призначений для користувача інтерфейс.

- Scene Builder - JavaFX надає додаток з ім'ям Scene Builder. При інтеграції цієї програми в IDE, такі як Eclipse і NetBeans, користувачі можуть отримати доступ до інтерфейсу перетягування, який використовується для розробки додатків FXML (так само, як додатки Swing Drag & Drop і DreamWeaver).

- Взаємодія Swing. У додатку JavaFX ви можете вбудовувати вміст Swing за допомогою класу Swing Node . Точно так же ви можете оновити існуючі програми Swing за допомогою функцій JavaFX, таких як вбудований веб-контент і мультимедійні графічні файли.

- Вбудовані елементи управління призначені для користувача інтерфейсом - бібліотека JavaFX обслуговує елементи управління користувацького інтерфейсу, за допомогою яких ми можемо розробити повнофункціональний додаток.

- CSS як Styling - JavaFX надає CSS як стиль. Використовуючи це, ви можете поліпшити дизайн вашого застосування з простими знаннями CSS.

- Canvas and Printing API - JavaFX надає Canvas, стиль безпосереднього режиму рендеринга API. У пакеті `javafx.scene.canvas` він містить набір класів для canvas, використовуючи які ми можемо малювати безпосередньо в області сцени JavaFX. JavaFX також надає класи для цілей друку в пакеті `javafx.print` .

- Багатий набір API - бібліотека JavaFX надає багатий набір API для розробки додатків з графічним інтерфейсом, 2D і 3D графіки і т. Д. Цей набір API також включає в себе можливості платформи Java.

- Отже, використовуючи цей API, ви можете отримати доступ до функцій мов Java, таким як Generics, Annotations, Multithreading і Lambda Expressions. Була поліпшена традиційна бібліотека Java Collections, і в неї були включені такі поняття, як спостережувані списки і карти. Використовуючи їх, користувачі можуть спостерігати за змінами в моделях даних.

- Інтегрована графічна бібліотека - JavaFX надає класи для 2D і 3D графіки.

- Графічний конвеєр - JavaFX підтримує графіку на основі графічного конвеєра з апаратним прискоренням, відомого як Prism. При використанні з підтримуваної графічною картою або графічним процесором він забезпечує плавну графіку. У разі, якщо система не підтримує графічну карту, тоді призмою за замовчуванням є стек програмного рендеринга.[29, 30]

JavaRx - бібліотека реактивного програмування, яка створена для оновлення інформації безпосередньо в момент її зміни.

4.2. Розробка будови програмного додатку

Для розробки даного програмного додатку було використано об'єктивно-орієнтовний підхід в програмуванні та патерн MVC.

Об'єктно - орієнтоване програмування (ООП) – це модель програмування яка базується на ствердженні того, що програма це сукупність об'єктів які взаємодіють між собою. Кожен об'єкт в цій моделі є незалежним, і він здатний отримувати, обробляти дані та відправляти ці дані іншим об'єктам. В ООП використано моделі успадкування, модульності, поліморфізму та інкапсуляції. Основним поняттям ООП є об'єкт. Об'єкт можна визначити як певну сукупність даних(характеристик об'єкта) та методів роботи з ними. Для класифікації об'єктів у ООП використовують класи. Клас служить зразком для створення об'єкту, тобто об'єкт є нічим іншим, ніж копією класу.

Кожен об'єкт має процедури і функції(те що він уміє виконувати, наприклад, завантажувати файл, відображати картинку і т.д.), які служать для роботи з даними об'єкта. Ці процедури і функції називаються методами.[47]

Існування ООП можливе завдяки трьом основним парадигмам на яких базується саме ООП:

— Інкапсуляція. Також відома як приховування даних. Зміст інкапсуляції полягає у приховуванні від зовнішнього користувача деталей реалізації об'єкта, замість цього надаючи інтерфейс взаємодії з ним.

— Успадкування. Це означає, що об'єкти (класи) можуть переймати деякі властивості у своїх прабатьків. Як? Це залежить від тієї мови, на якому пишеться програма. Однак у будь-якому випадку картина та ж: це призводить до повторного використання вже написаного одного разу коду. Підкласи успадковують атрибути та поведінку своїх батьківських класів, і можуть мати нові власні атрибути. Тобто утворюється ієрархія з класів, де від основного класу(так званого, предка) походять усі інші класи.

— Поліморфізм означає залежність поведінки від класу, в якому ця поведінка викликається, тобто, два або більше класів можуть реагувати по різному на однакові повідомлення. Це спричинене зміною в одного з класів якогось методу(процедури, функції), шляхом запису іншого алгоритму.[]

Model-View-Controller (MVC , «Модель-Представлення-Контролер», «Модель-Вид-Контролер») - схема поділу даних програми, призначеного для користувача інтерфейсу і керуючої логіки на три окремих компоненти: модель, уявлення і контролер - таким чином, що модифікація кожного компонента може здійснюватися незалежно .(рис 4.1)

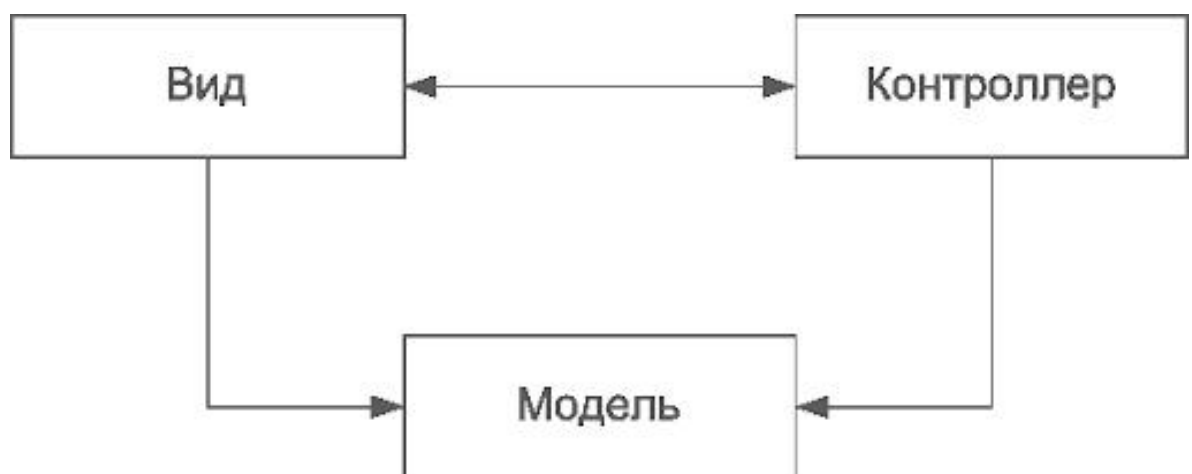


Рис 4.1 Модель роботи паттерна MVC

- Модель (Model) надає дані і реагує на команди контролера, змінюючи свій стан .
- Подання (View) відповідає за відображення даних моделі користувачеві, реагуючи на зміни моделі .
- Контролер (Controller) інтерпретує дії користувача, сповіщаючи модель про необхідність змін .[31]

Переваги концепції MVC:

- Єдина концепція системи. Безсумнівним плюсом MVC є єдина глобальна архітектура програми. Навіть в складних системах, розробники можуть легко орієнтуватися в програмних блоках. Наприклад, якщо виникла помилка в логіці обробки даних, розробник відразу відкидає два блоки програми (controller і view) і займається дослідженням третього (model). Я не раз дивувався, наскільки сильно спростилося локалізація проблем.
- Спрощено механізм налагодження програми. Так як весь механізм візуалізації тепер сконцентрований в одному програмному блоці, спростилися механізми опціонального виведення графічних елементів. Я не можу оцінити наскільки це твердження може бути застосовано в програмуванні класичних додатків, але в Web програмуванні ця архітектурна особливість стала безсумнівним плюсом.

Через застосування даного паттерну архітектура(рис 4.2) проєкту стала зрозуміла та легка для змін, зменшилася кількість помилок, та полегшилася подальша підтримка.[31, 32]

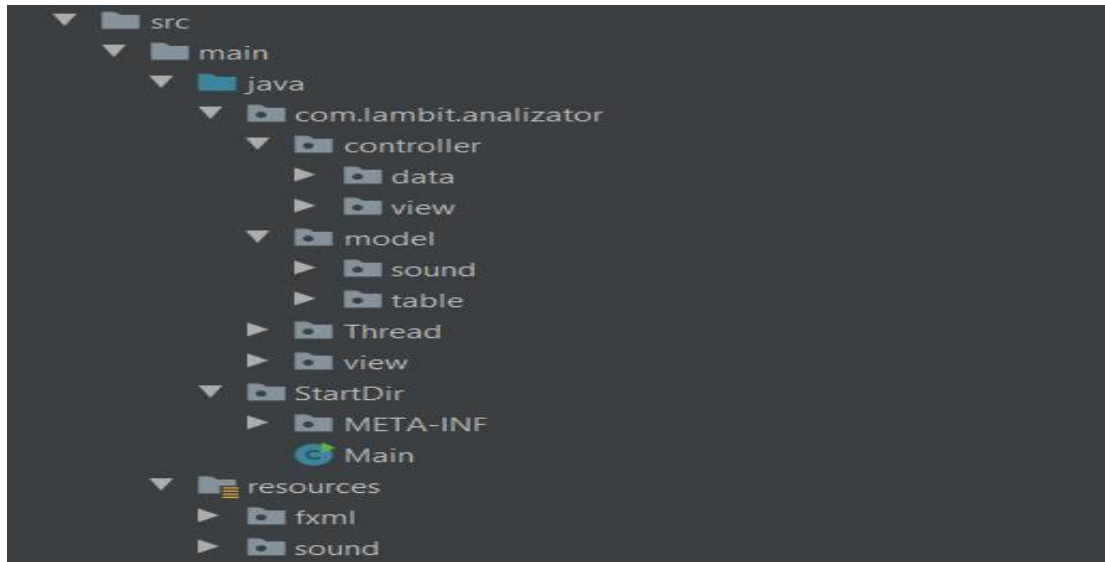


Рис 4.2 Будова проєкту з використанням MVC

Також, в данному проєкті було використано модуль для програм на Java під назвою Maven.

Apache Maven — це засіб автоматизації роботи з програмними проєктами, який спочатку використовувався для Java проєктів. Використовується для управління (management) та складання (build) програм. Для опису програмного проєкту, який потрібно побудувати (build), Maven використовує конструкцію відому як Project Object Model (POM), залежності від зовнішніх модулів, компонентів та порядку побудови. Виконання певних, чітко визначених задач — таких, як компіляція коду та пакетування відбувається шляхом досягнення заздалегідь визначених цілей (targets).

Ключовою особливістю Maven є його мережева готовність (network-ready). Двигун ядра може динамічно завантажувати плагіни з репозиторію, того самого репозиторію, що забезпечує доступ до багатьох версій різних Java-проєктів з відкритим кодом, від Apache та інших організацій та окремих розробників. Цей репозиторій та його реорганізований наступник, — Maven 2 репозиторій, — намагається бути де-факто механізмом для дистрибуції Java програм, але прийняття його в такій якості йде повільно. Maven забезпечує підтримку побудови не просто перебираючи файли з цього репозиторію, але й завантажуючи назад артефакти у кінці побудови. Локальний кеш звантажених

артефактів діє як первісний засіб синхронізації виходу проєктів на локальній системі.[33,45]

Оскільки в протоколі, який створюється приладом ВДС-1М, знаходиться 36 інформативних параметрів та враховуючи можливість приладу безперервного вимірювання з інтервалом в оду секунду, та необхідність створення моделей для кожного з параметрів та їх збереження для подальшої обробки було використано стандартну бібліотеку Java Threads.

Багатопотокове програмування дозволяє розділити уявлення і обробку інформації на кілька «легких» процесів (light-weight processes), що мають загальний доступ як до методів різних об'єктів додатки, так і до їхніх полів. Нить незамінна в тих випадках, коли графічний інтерфейс повинен реагувати на дії користувача при виконанні певної обробки інформації. Потоки можуть взаємодіяти один з одним через основний «батьківський» потік, з якого вони були початі.

Прикладом з програмного додатку є потік, який відповідає за надання інформації в інтерфейсі, який очікує завершення роботи іншого потоку, що завантажує файл, і одночасно оновлює прогрес-бар. Крім того цей потік може зупинити завантажує файл потік при натисканні кнопки «Скасувати».

Переваги потоків перед процесами:

- потоки набагато легше процесів оскільки вимагають менше часу і ресурсів;
- перемикання контексту між потоками набагато швидше, ніж між процесами;
- набагато простіше домогтися взаємодії між потоками, ніж між процесами.[35]

4.3. Алгоритм роботи технологій використаних для розробки

Java є об'єктно-орієнтованою мовою, тому всю програму можна представити як набір взаємодії між собою класів і об'єктів.

Розробка програм починається з розробки макетів класів, алгоритму їх наслідування та методів які будуть керувати роботою цих класів.

Розглянувши схему 4.1 можна побачити декілька основних класів від яких відбувається наслідування:

1. ModelFormat → ModelFormatImpl, CSVModelFormatImpl
2. NoArgsConstructor → Всі класи додатку
3. Data → Всі класи програми
4. Runnable → Thread→ReadThread
5. Application → MainWindowController
6. AutoCloseable → MidiSound, Sound

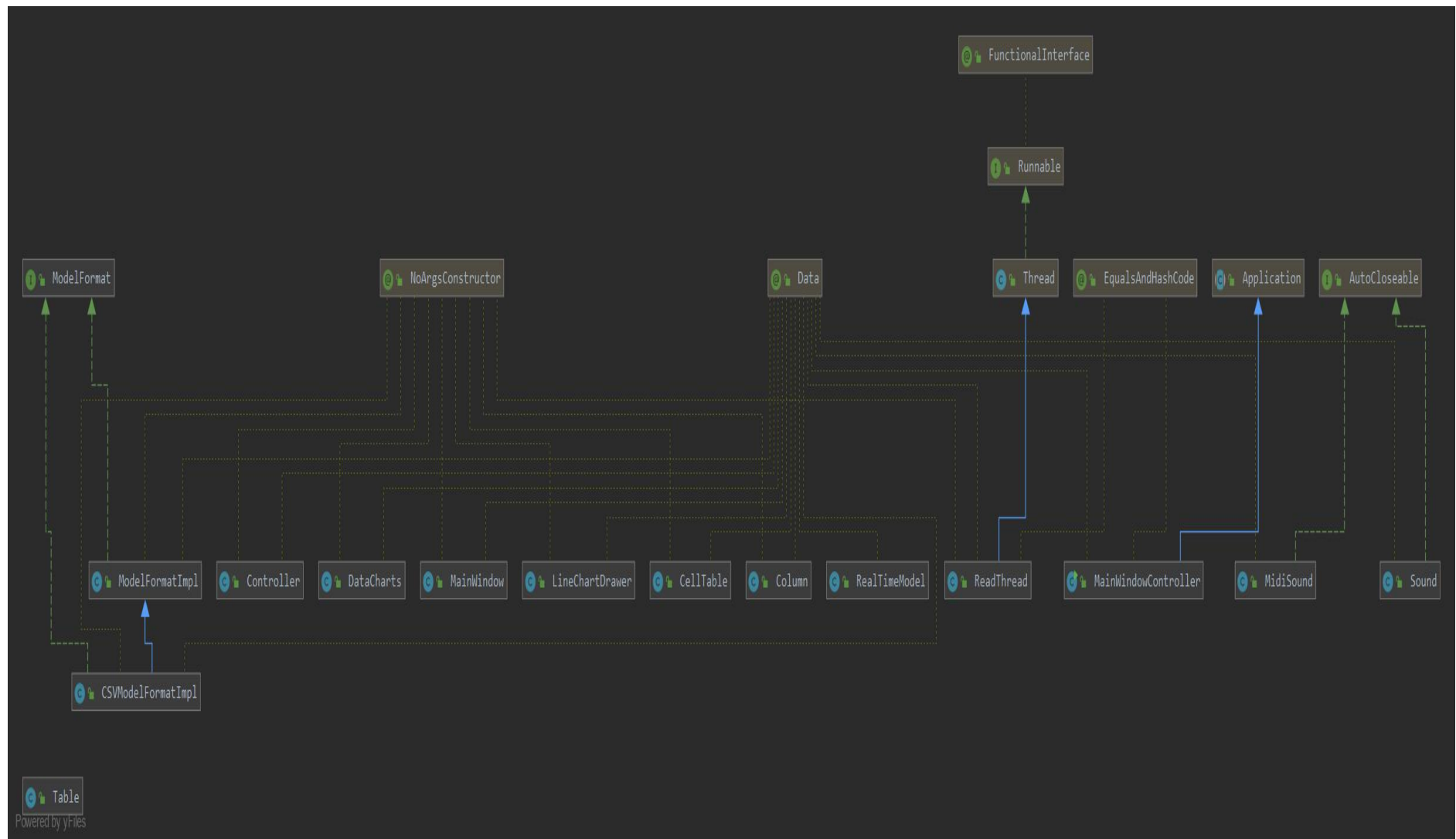


Схема 4.1 Наслідування класів в програмному додатку

4.3.1 Модель ланцюгів наслідування

ModelFormat(рис 4.3). Під час розгляду основоположний частин ООП було з'ясовано, що успадкування методів знищує необхідність повтору необхідного коду в різних місцях програми, клас ModelFormat зберігає в собі необхідний мінімум методів для коректної взаємозамінності двох класів які від нього наслідуються.

Оскільки ВДС-1М має декілька варіантів збереження результатів вимірювання(xls,.xlsx, csv) з'являється необхідність наявності контролерів для обробки кожного з протоколів збереження даних. Саме для цього було розроблено два контролера.

ModelFormatImpl(рис 4.4) - клас контролер для обробки вже закінченого протоколу вимірювань в форматах xls,xlsx.

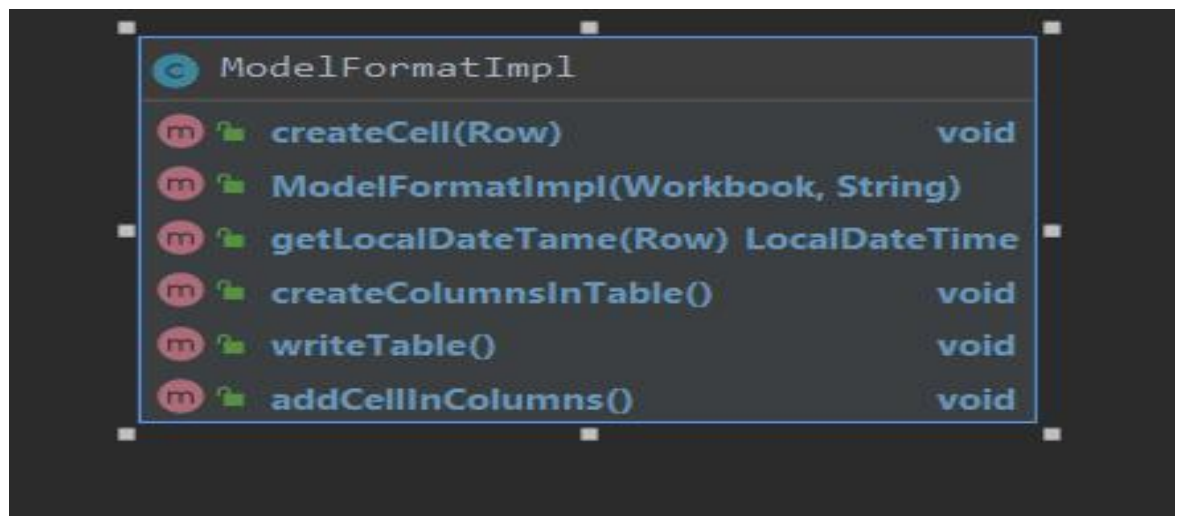


Рис 4.3 Клас ModelFormatImpl

CSVModelFormatImpl - клас контролер для обробки протоколу вимірювань в форматі csv.

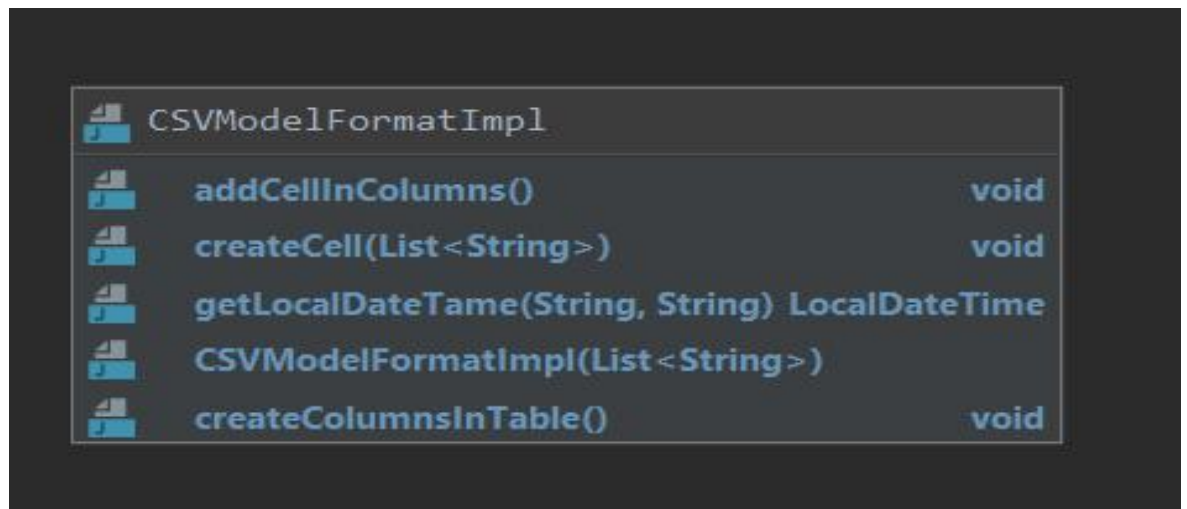


Рис 4.4 Клас CSVModelFormatImpl

Розглянувши обидва макети можна побачити однакові методи які були отримані від головного класу.

NoArgsConstructor, Data.

Project Lombok - це бібліотека java, яка автоматично підключається до вашого редактора та створює інструменти, що підсилює вашу Java. За допомогою даної бібліотеки зменшується час на розробку за допомогою анотацій які надає данна бібліотека автоматично створюються методи доступу для змінних об'єкту та необхідні конструктори.[34]

NoArgsConstructor - створення порожнього конструктора класу (конструктор без вхідних даних)

Data - автоматична генерація всіх службових методів для класу та всіх змінних які в ньому знаходяться.

Runnable. Runnable-це спеціальний інтерфейс який створений для керування потоками процесора java. Даний інтерфейс необхідний для того щоб обробляти, сортувати, та створювати моделі великої кількості даних за малий проміжок часу.

Thread - клас який реалізує весь функціонал зазначеного вище інтерфейсу, та надає нам можливість створення потоків. [35]

ReadThread - клас який необхідний для зчитування даних вимірювання, та миттєвої передачі їх класам підписаним на даний потік за допомогою бібліотеки JavaRx.

Application - спеціальний клас який реалізує всі необхідні методи для розгортки додатку на будь якій системі.

MainWindowController який унаслідований від класу Application - це вхідна точка в програму з якої починається створення візуального інтерфейсу та його відображення на екрані користувача. Методи даного класу зображено на рис 4.5:

```

public MainWindowController() {...}

@Override
public void start(Stage primaryStage) {...}

public void startMainWindow(String[] args) { Launch (args); }

private void serialWrite() {...}

private void realSerialWrite(ObservableList list) {...}

private void secondSerialWrite(ObservableList list) {...}

private void firstSerialWrite(ObservableList list) {...}

private void thirdSerialWrite() {...}

private void refreshScene(LineChart chart, int skip, ChoiceBox box, Label label) {...}

private void clearAllCharts() {...}

private ObservableList getObservableListByParticleSize() {...}

private int getSkip(int limit) {...}

private int getLimit() {...}

private void setVisibleStartButton() {...}

private void setVisibleStopButton() {...}

private void addDataSeries() {...}

```

Рис 4.5 Методы контролера MainWindowController

4.3.2 Алгоритм роботи RxJava.

Розглянемо основні об'єкти, які використовуються в Rx бібліотеках Observable, Observer і Subscriber(рис 4.6).

Observable - це об'єкт або функція, яка видає послідовності даних в часі.

Observer - це об'єкт або функція, яка знає, як обробляти послідовності даних.

Subscriber - це об'єкт або функція, яка пов'язує Observable і Observer.[36]

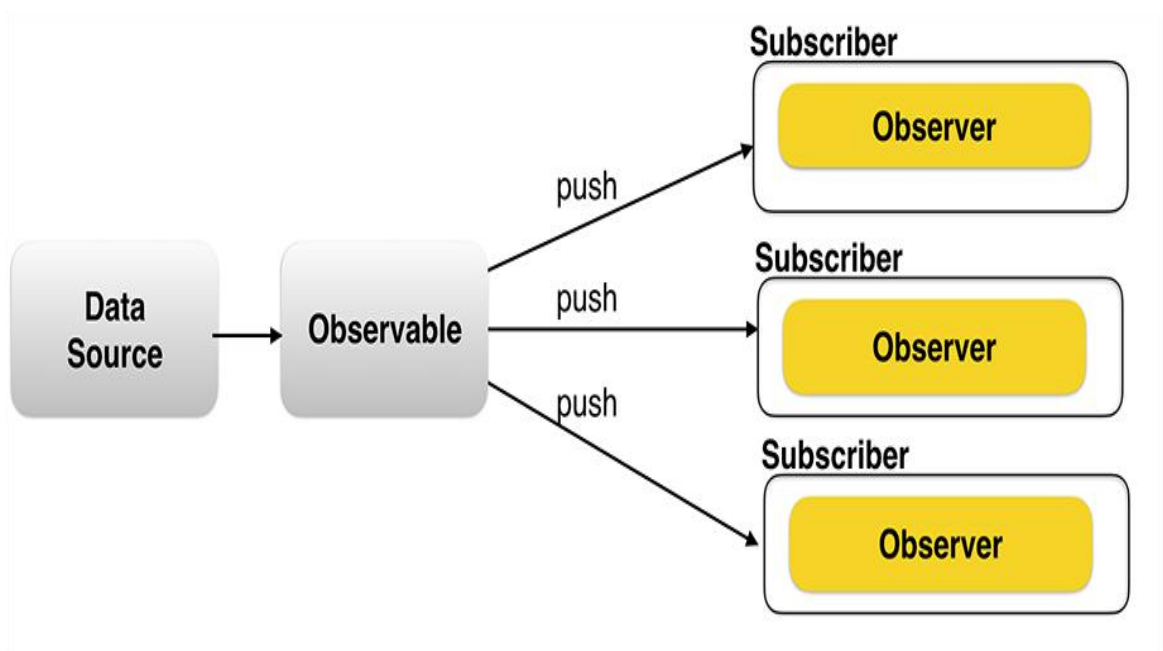


Рис 4.6 Алгоритм роботи RX бібліотек

Переваги даного методу:

- Rx бібліотеки заточені на асинхронну обробку без блокування обробки даних.
- Rx пропонує простий API з виділеними каналами для передачі даних, помилок і сигналу про закінчення потоку даних.
- У Rx бібліотеках є більше сотні операторів, якими можна обробляти потоки йдуть до передплатника. Оператори можна збирати в ланцюжки, тобто оператори composable.
- У RxJava2, добре підтримується backpressure, тобто ситуація, коли продюсер видає дані швидше, ніж передплатник може обробити.

- Для Rx messaging не потрібно піднімати спеціальні сервери. Все включено в код вашого застосування.

- У мовах, які підтримують багато поточність, робота з потоками спрощується, як і перемикання з одних на інші.[36]

Observer може імплементувати три методи для обробки даних[36]:

- `next ()` - видає нове значення з потоку.
- `error ()` - повертає помилку яка сталася в потоці.
- `complete ()` - повідомляє про завершення потоку.

4.4 Алгоритм роботи програмного додатку

Запуск програмного додатку починається з запуску JVM. Віртуальна машина Java (англ. Java Virtual Machine; JVM) — набір комп'ютерних програм та структур даних, що використовують модель віртуальної машини для виконання інших комп'ютерних програм чи скриптів.

JVM використовує байт-код Java, який як правило, але не завжди генерується з вихідних кодів мови програмування Java; віртуальну машину також застосовують для виконання коду, згенерованого з інших мов програмування. Наприклад, вихідний код Ada можна скомпілювати у Java байт-код.

Віртуальна машина Java — основний компонент Java платформи. JVM доступна для всіх основних сучасних платформ, тому програми, що скомпільовані у Java байткод теоретично можна сказати «Написано один раз, працює скрізь»

Наступним етапом запуску є завантаження скомпільованої в байт-код програми в віртуальну машину та безпосереднє відображення інтерфейсу(див схему 4.2).

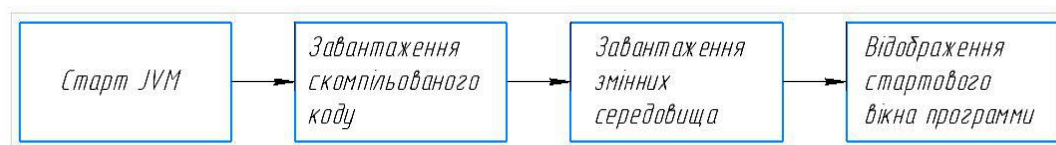
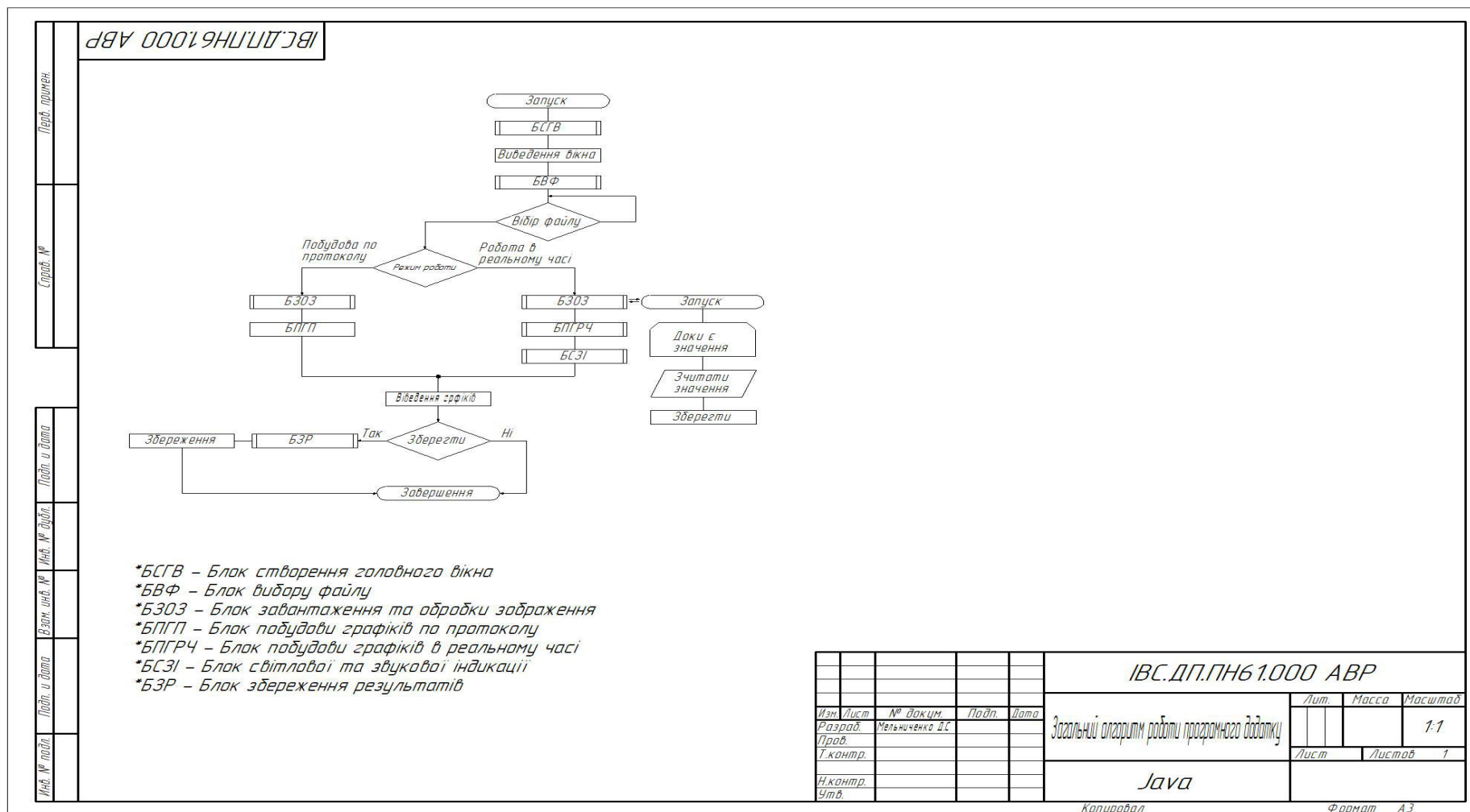


Схема 4.2 запуску програмного додатку

Після запуску програма, починає працювати в загальному алгоритмі роботи зображеному на схемі 4.3.

Загальний алгоритм роботи програмного додатку



Після відображення головного вікна(див. рис 4.7) програма переходить в режим очікування протоколу з даними.

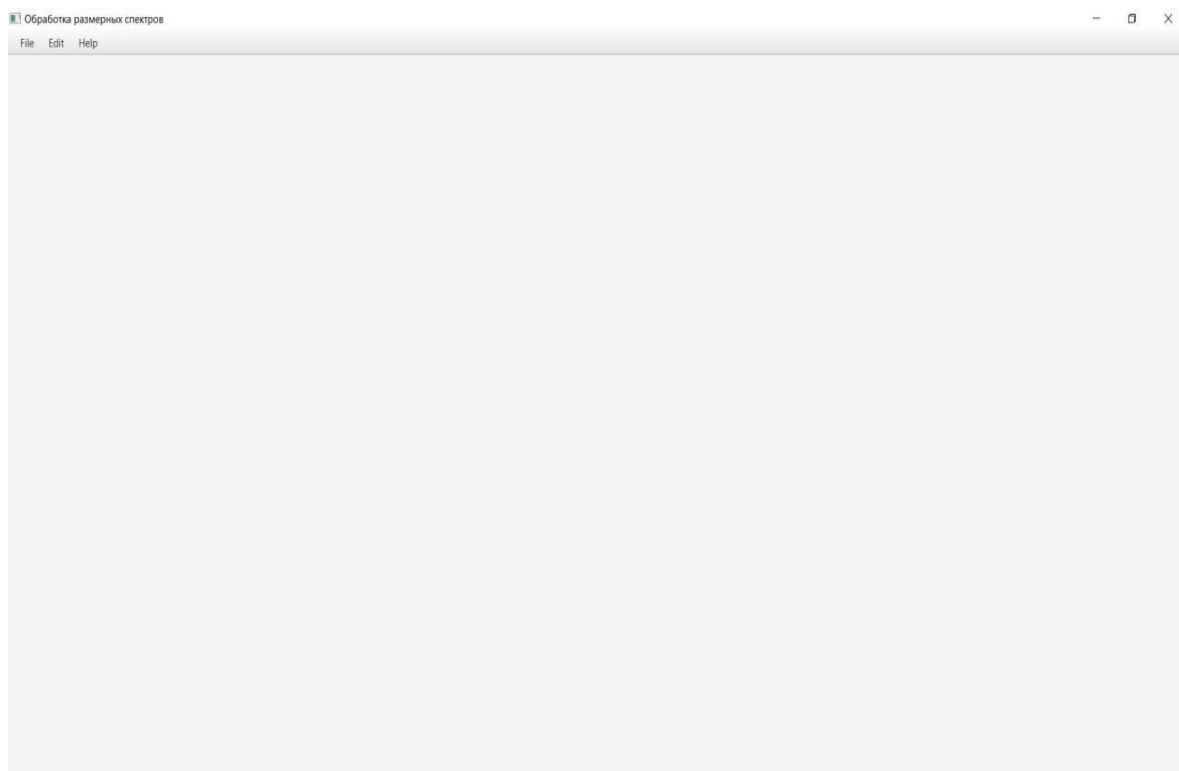


Рис 4.7 Головне вікно програми в режимі очікування

Для завантаження файлу в програму використовується контекстна панель File(див. рис 4.8).

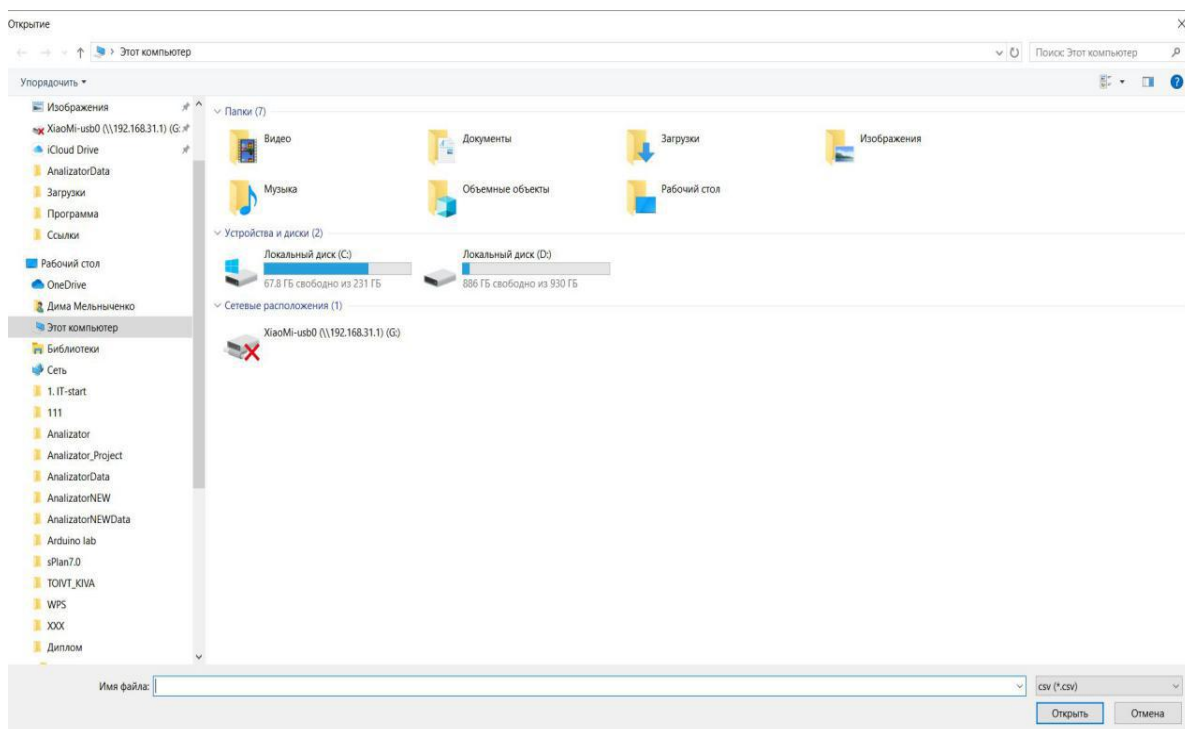


Рис 4.8 Вікно вибору файлу

В правому нижньому куті присутній селектор для сортування файлів за їх розширенням(див. рис 4.9).

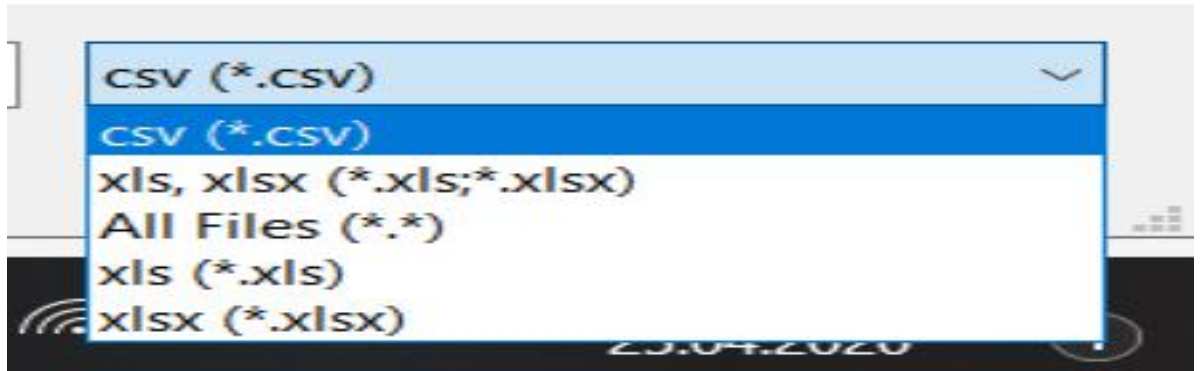


Рис 4.9 Селектор розширення вибору файлу

Одразу після вибору файлу відбудеться обробка та побудова графіків за розміром частинок та по головним аргументам розчину. Та відбудеться їх відображення в головному вікні(див. рис 4.10)

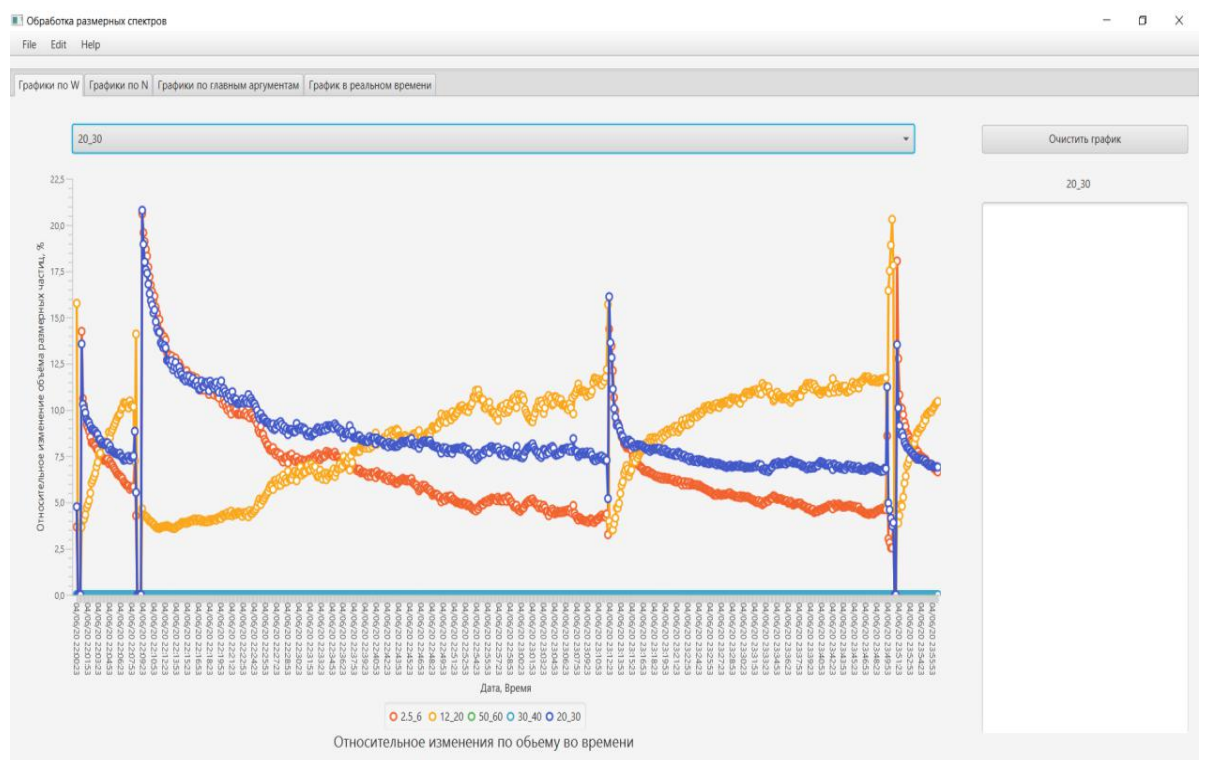


Рис 4.10 Головне вікно програми в режимі відображення графіків по закінченому протоколу

В інтерфейсі програми присутні 4 основні види графіків(Відповідно 4 додаткові пункти в вікні програми).

Види графіків:

1. Графік по W - характеризує відносну зміну розмірних часток в дисперсному розчині в відсотках.
2. Графік по N - характеризує відносну зміну розмірних часток в дисперсному розчині в відсотках.
3. Графіки по головним аргументам - характеризуються трьома головними параметрами дисперсного розчину:
 - 3.1 D_{avr} - відображає зміну розмірних структур в часі.
 - 3.2 N_{cm3} - загальна кількість частинок в дисперсному розчині.
 - 3.3 S_{cm3} - площа розмірних структур та їх зміна з часом
4. Графік в реальному часі - спеціальний пункт який розрахований для миттєвого(затримка 1 секунда) контролю дисперсного розчину по пунктам 1 та 2.

Пункт “Графік в реальному часі” об’єднує в собі одночасно вимірювання, контроль, та сигналізатор в реальному часі для якомога швидшого налагодження технічного процесу створення розчинів(див. рис 4.11).

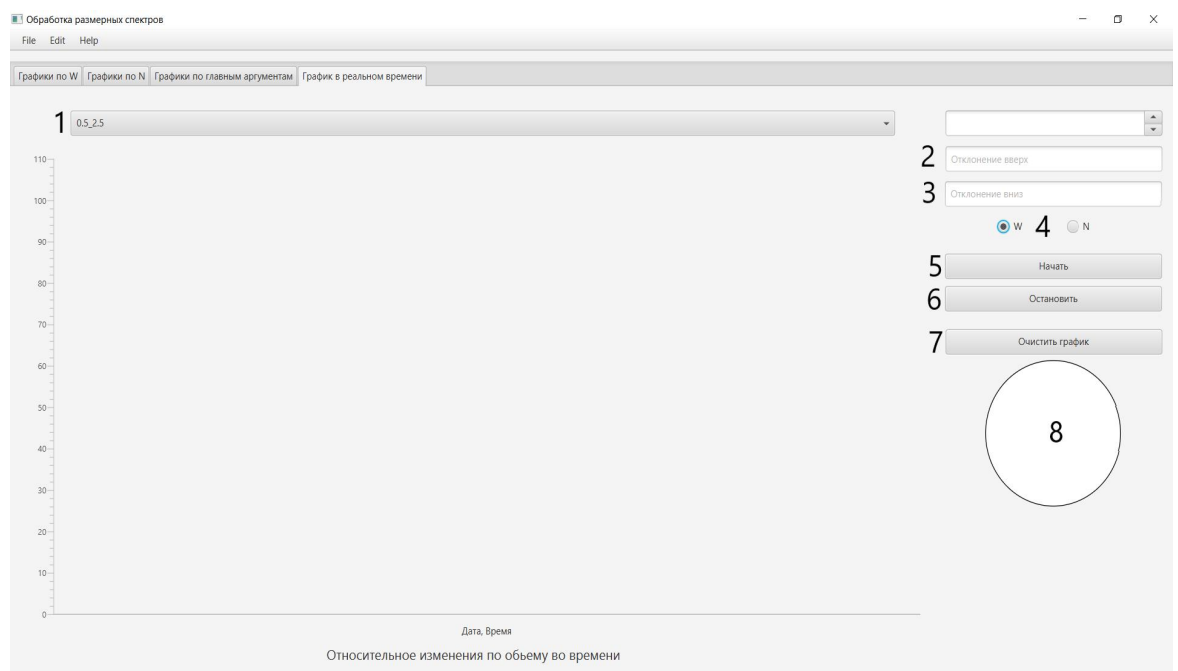


Рис 4.11 Вікно програми в режимі реального часу

Інтерфейс складається з таких елементів:

1. Селектор вибору розміру дисперсних частинок які необхідно контролювати
2. Вибір верхнього відхилення в відсотках по пункту 1 чи 2
3. Вибір нижнього відхилення
4. Вибір необхідного режиму побудови графіку по W чи N
5. Кнопка початку обробки даних
6. Кнопка закінчення обробки
7. Очищення графіку
8. Кольоровий сигналізатор.

Кольоровий сигналізатор має 4 режими роботи(див. рис 4.12):

- Білий колір - сигналізатор не активний, програма очікує запуску
- Зелений сигналізатор - програма працює нормально данні зчитуються та знаходяться в межах допустимих заданих відхилень
- Помаранчевий сигналізатор - значення знаходяться на межі заданих допустимих відхилень але не перевищують їх. Необхідно прийняти міри для корекції процесу виготовлення розчину.
- Червоний сигналізатор - значення знаходяться за зоною допустимих заданих технічних значень вмикається звукова тривога, необхідно негайно вимкнути лінію виготовлення розчину та внести відповідні зміни для поліпшення технічного процесу.

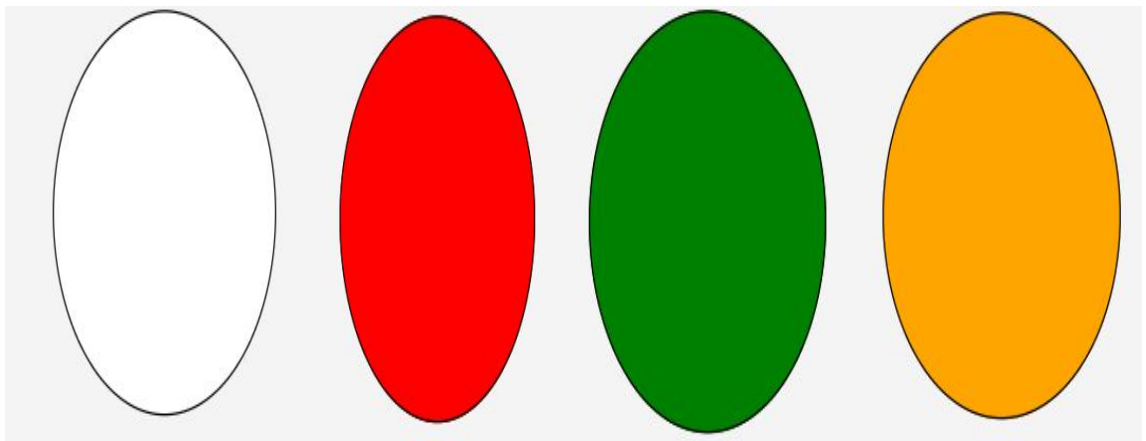


Рис 4.12 Відображення стану вимірювального розчину

Програма в режимі вимірювання в режимі реального часу(див. рис 4.13)

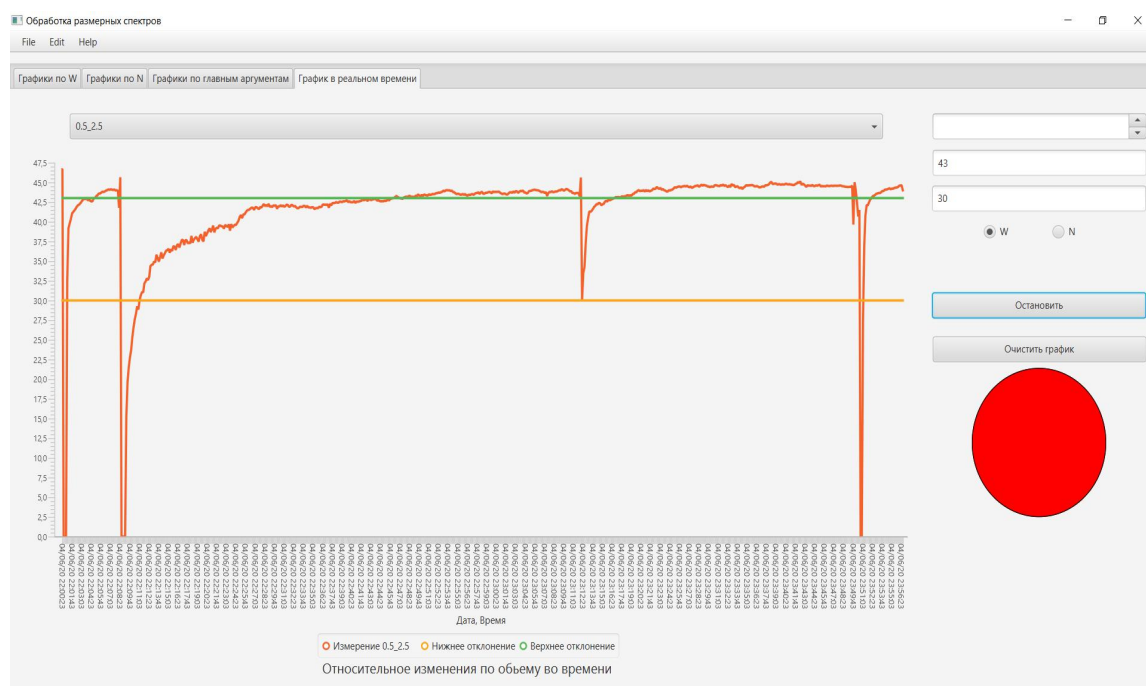


Рис 4.13 Работа программы

Після обробки даних є можливість збереження всіх необхідних графіків для подальшої демонстрації чи аналізу. У вкладці File можливо вибрати місце для збереження через діалог (див. рис 4.14), після чого на комп'ютері буде створено папку в назві якої буде фігурувати час збереження з файлами графіків які будуть названі іменами режимів та назвою файлу який був в обробці.

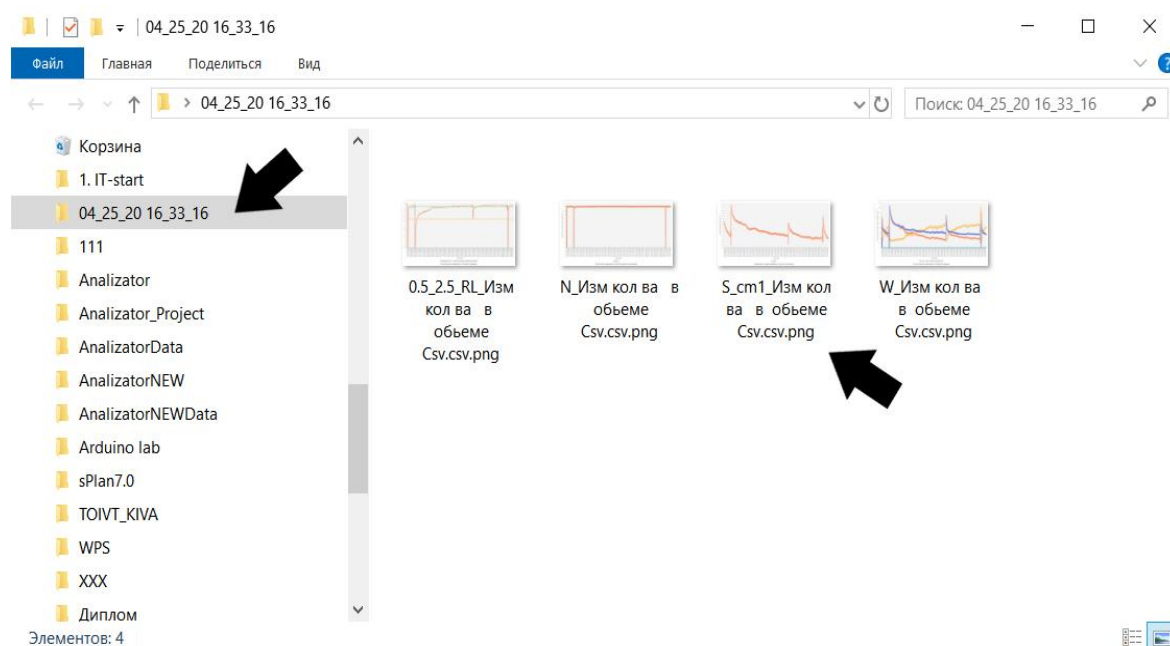


Рис 4.14 Збереження результатів обробки

Оскільки за роботу інтерфейсу відповідає JavaFx, а інтерфейс написаний на мові розмітки fxml то код інтерфейсу безпосередньо виглядає так:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?import javafx.scene.chart.CategoryAxis?>
<?import javafx.scene.chart.LineChart?>
<?import javafx.scene.chart.NumberAxis?>
<?import javafx.scene.control.Button?>
<?import javafx.scene.control.ChoiceBox?>
<?import javafx.scene.control.Label?>
<?import javafx.scene.control.Menu?>
<?import javafx.scene.control.MenuBar?>
<?import javafx.scene.control.MenuItem?>
<?import javafx.scene.control.RadioButton?>
<?import javafx.scene.control.Spinner?>
<?import javafx.scene.control.Tab?>
<?import javafx.scene.control.TabPane?>
<?import javafx.scene.control.TextArea?>
<?import javafx.scene.control.TextField?>
<?import javafx.scene.layout.AnchorPane?>
<?import javafx.scene.shape.Circle?>

<AnchorPane maxHeight="-Infinity" maxWidth="-Infinity" minHeight="-Infinity"
minWidth="-Infinity" prefHeight="600.0" prefWidth="900.0"
xmlns="http://javafx.com/javafx/11.0.1" xmlns:fx="http://javafx.com/fxml/1"
fx:controller="com.lambit.analizator.controller.view.MainWindowController">
    <children>
        <TabPane fx:id="mainWindowChooseChart" layoutX="7.0" layoutY="32.0"
```

```

tabClosingPolicy="UNAVAILABLE" AnchorPane.bottomAnchor="0.0"
AnchorPane.leftAnchor="0.0" AnchorPane.rightAnchor="0.0"
AnchorPane.topAnchor="40.0">
    <tabs>
        <Tab fx:id="firstSerialChart" text="Графики по W">
            <content>
                <AnchorPane maxHeight="1.7976931348623157E308"
maxWidth="1.7976931348623157E308" minWidth="-Infinity">
                    <children>
                        <LineChart fx:id="firstSerialChartChart"
alternativeColumnFillVisible="true" animated="false"
horizontalGridLinesVisible="false" layoutX="14.0" layoutY="74.0"
prefHeight="400.0" prefWidth="329.0" title="Относительные изменения по
объему во времени " titleSide="BOTTOM" verticalGridLinesVisible="false"
AnchorPane.bottomAnchor="14.0" AnchorPane.leftAnchor="14.0"
AnchorPane.rightAnchor="322.0" AnchorPane.topAnchor="74.0">
                            <xAxis>
                                <CategoryAxis endMargin="2.0"
tickLabelGap="0.0" tickLabelRotation="135.0" />
                            </xAxis>
                            <yAxis>
                                <NumberAxis side="LEFT" />
                            </yAxis>
                        </LineChart>
                        <ChoiceBox fx:id="firstSerialChartChoiceBox"
layoutX="80.0" layoutY="42.0" prefHeight="32.0" prefWidth="218.0"
AnchorPane.leftAnchor="80.0" AnchorPane.rightAnchor="367.0"
AnchorPane.topAnchor="30.0" />
                            <Label fx:id="firstSerialChartLabel" layoutX="472.0"
layoutY="86.0" text="123" AnchorPane.rightAnchor="140.0"

```

```

AnchorPane.topAnchor="86.0" />
        <TextArea fx:id="firstSerialChartTextArea"
layoutX="499.0" layoutY="149.0" prefHeight="332.0" prefWidth="266.0"
AnchorPane.bottomAnchor="40.0" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="115.0" />
        <Button fx:id="firstSerialChartClearButton"
layoutX="520.0" layoutY="31.0" mnemonicParsing="false" onAction="#clearChart"
prefHeight="31.0" prefWidth="266.0" text="Очистить график"
AnchorPane.rightAnchor="14.0" AnchorPane.topAnchor="31.0" />
    </children></AnchorPane>
</content>
</Tab>
<Tab fx:id="secondSerialChart" text="Графики по N">
    <content>
        <AnchorPane minHeight="0.0" minWidth="0.0"
prefHeight="180.0" prefWidth="200.0">
            <children>
                <LineChart fx:id="secondSerialChartChart"
animated="false" horizontalGridLinesVisible="false" prefHeight="400.0"
prefWidth="329.0" title="Абсолютное изменение количества веществаво
времени" titleSide="BOTTOM" verticalGridLinesVisible="false"
AnchorPane.bottomAnchor="14.0" AnchorPane.leftAnchor="14.0"
AnchorPane.rightAnchor="322.0" AnchorPane.topAnchor="74.0">
                    <xAxis>
                        <CategoryAxis side="BOTTOM" />
                    </xAxis>
                    <yAxis>
                        <NumberAxis side="LEFT" />
                    </yAxis>
                </LineChart>

```

```

        <ChoiceBox fx:id="secondSerialChartChoiceBox"
prefHeight="32.0" prefWidth="218.0" AnchorPane.leftAnchor="80.0"
AnchorPane.rightAnchor="367.0" AnchorPane.topAnchor="30.0" />
        <Label fx:id="secondSerialChartLabel"
alignment="CENTER" text="123" AnchorPane.rightAnchor="140.0"
AnchorPane.topAnchor="86.0" />
        <TextArea fx:id="secondSerialChartTextArea"
layoutX="502.0" layoutY="140.0" prefHeight="329.0" prefWidth="266.0"
AnchorPane.bottomAnchor="40.0" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="115.0" />
        <Button fx:id="secondSerialChartClearButton"
mnemonicParsing="false" onAction="#clearChart" prefHeight="31.0"
prefWidth="266.0" text="Очистить график" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="31.0" />
    </children></AnchorPane>
</content>
</Tab>
<Tab fx:id="thirdSerialChart" text="Графики по главным
аргументам">
    <content>
        <AnchorPane maxHeight="1.7976931348623157E308"
maxWidth="1.7976931348623157E308" minWidth="-Infinity">
            <children>
                <LineChart fx:id="thirdSerialChartChart"
animated="false" horizontalGridLinesVisible="false" prefHeight="400.0"
prefWidth="329.0" titleSide="BOTTOM" verticalGridLinesVisible="false"
AnchorPane.bottomAnchor="14.0" AnchorPane.leftAnchor="14.0"
AnchorPane.rightAnchor="322.0" AnchorPane.topAnchor="74.0">
                    <xAxis>
                        <CategoryAxis side="BOTTOM" />

```

```

        </xAxis>
        <yAxis>
            <NumberAxis side="LEFT" />
        </yAxis>
    </LineChart>
    <ChoiceBox fx:id="thirdSerialChartChoiceBox"
prefHeight="32.0" prefWidth="218.0" AnchorPane.leftAnchor="80.0"
AnchorPane.rightAnchor="367.0" AnchorPane.topAnchor="30.0" />
    <Label fx:id="thirdSerialChartLabel"
alignment="CENTER" text="123" AnchorPane.rightAnchor="140.0"
AnchorPane.topAnchor="86.0" />
    <TextArea fx:id="thirdSerialChartTextArea"
layoutX="486.0" layoutY="107.0" prefHeight="329.0" prefWidth="266.0"
AnchorPane.bottomAnchor="40.0" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="115.0" />
    <Button fx:id="thirdSerialChartClearButton"
mnemonicParsing="false" onAction="#clearChart" prefHeight="31.0"
prefWidth="266.0" text="Очистить график" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="31.0" />
</children></AnchorPane>
</content>
</Tab>
<Tab fx:id="realLifeSerialChart" text="График в реальном
времени">
    <content>
        <AnchorPane maxHeight="1.7976931348623157E308"
maxWidth="1.7976931348623157E308" minWidth="-Infinity" prefHeight="505.0"
prefWidth="900.0">
            <children>
                <LineChart fx:id="realLifeSerialChartChart"

```

```

alternativeColumnFillVisible="true" animated="false" createSymbols="false"
horizontalGridLinesVisible="false" layoutX="14.0" layoutY="74.0"
prefHeight="400.0" prefWidth="329.0" title="Относительное изменения по
объему во времени " titleSide="BOTTOM" verticalGridLinesVisible="false"
AnchorPane.bottomAnchor="14.0" AnchorPane.leftAnchor="14.0"
AnchorPane.rightAnchor="322.0" AnchorPane.topAnchor="74.0">
    <xAxis>
        <CategoryAxis startMargin="10.0"
tickLabelGap="0.0" />
    </xAxis>
    <yAxis>
        <NumberAxis side="LEFT" />
    </yAxis>
</LineChart>
<ChoiceBox fx:id="realLifeSerialChoiceBox"
layoutX="80.0" layoutY="42.0" prefHeight="31.0" prefWidth="218.0"
AnchorPane.leftAnchor="80.0" AnchorPane.rightAnchor="367.0"
AnchorPane.topAnchor="30.0" />
    <Button fx:id="realLifeSerialButtonClear"
layoutX="699.0" layoutY="299.0" mnemonicParsing="false"
onAction="#clearChart" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0" text="Очистить
график" AnchorPane.rightAnchor="14.0" AnchorPane.topAnchor="299.0" />
    <Button fx:id="realLifeSerialButtonStart"
layoutX="699.0" layoutY="206.0" mnemonicParsing="false"
onAction="#startRealLifeChart" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0"
text="Начать" AnchorPane.rightAnchor="14.6000000000000023"
AnchorPane.topAnchor="206.0" />
    <Button fx:id="realLifeSerialButtonStop"
layoutX="699.0" layoutY="246.0" mnemonicParsing="false"
onAction="#stopRealLifeChart" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0"

```

```

text="Остановить" AnchorPane.rightAnchor="14.600000000000023"
AnchorPane.topAnchor="246.0" />
        <TextField fx:id="realLifeSerialLowerDeviation"
layoutX="699.0" layoutY="117.0" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0"
promptText="Отклонение вниз" AnchorPane.rightAnchor="14.600000000000023"
AnchorPane.topAnchor="117.0" />
        <RadioButton fx:id="realLifeSerialRButtonW"
layoutX="768.0" layoutY="164.0" mnemonicParsing="false" text="W"
AnchorPane.rightAnchor="198.4" AnchorPane.topAnchor="164.0" />
        <RadioButton fx:id="realLifeSerialRButtonN"
layoutX="860.0" layoutY="164.0" mnemonicParsing="false" text="N"
AnchorPane.rightAnchor="108.79999999999995" AnchorPane.topAnchor="164.0"
/>
        <TextField fx:id="realLifeSerialUpperDeviation"
layoutX="837.0" layoutY="74.0" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0"
promptText="Отклонение вверх" AnchorPane.rightAnchor="14.0"
AnchorPane.topAnchor="74.0" />
        <Spinner fx:id="realLifeSerialSpinner"
layoutX="694.0" layoutY="33.0" prefHeight="31.0" prefWidth="286.0"
AnchorPane.rightAnchor="14.0" AnchorPane.topAnchor="30.0" />
        <Circle fx:id="realLifeSerialIndicator" fill="#ffffff"
layoutX="742.0" layoutY="426.0" radius="90.0" stroke="BLACK"
strokeType="INSIDE" AnchorPane.bottomAnchor="13.0"
AnchorPane.rightAnchor="68.0" AnchorPane.topAnchor="337.0" />
    </children>
</AnchorPane>
</content>
</Tab>
</tabs>
</TabPane>

```

```

<MenuBar layoutY="1.0" AnchorPane.leftAnchor="0.0"
AnchorPane.rightAnchor="0.0" AnchorPane.topAnchor="1.0">
    <menus>
        <Menu mnemonicParsing="false" text="File">
            <items>
                <MenuItem fx:id="menuOpenFile" mnemonicParsing="false"
onAction="#addNewFile" text="Open" />
                <MenuItem fx:id="menuSaveCharts"
mnemonicParsing="false" onAction="#saveAsPng" text="Save" />
            </items>
        </Menu>
        <Menu mnemonicParsing="false" text="Edit">
            <items>
                <MenuItem mnemonicParsing="false" text="Delete" />
            </items>
        </Menu>
        <Menu mnemonicParsing="false" text="Help">
            <items>
                <MenuItem mnemonicParsing="false" text="About" />
            </items>
        </Menu>
    </menus>
</MenuBar>
</children>
</AnchorPane>

```

Висновок: за допомогою програмного додатку можливо менше ніж за секунду побудувати графіки стану розчину по 36 головним аргументам та отримати їх наочне відображення, що економить багато годин праці під час аналізу та порівняння результатів різних протоколів вимірювання. За

допомогою використання режиму вимірювання в реальному часі стає можливим отримання графіку який наочно відражає протікання технічного процесу, що дозволяє миттєво коригувати його та заощаджує час на транспортуванні проб в лабораторію обробку результатів та їх аналіз, також наявна система сигналізації критичного відхилення, що виключає похибку оператора в процесі вимірювання.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних джерел за темою бакалаврської роботи, та вибрано, методи які освітлено в даних працях для вирішення задач бакалаврської роботи такі, як лазерна дифрактометрія та метод седиментації. Було визначено, що протоколи вимірювань згідно до цих методів досліджень складні для обробки, а метод седиментації потребує занадто багато часу на одне вимірювання
2. Проаналізовано сучасні методи контролю дисперсності розчинів, з'ясовано, що методи: Ядерного магнітного резонансу, трансмісійна та растрова мікроскопія, метод лічильника Коутера не підходять оскільки не задовольняють вимогам технічного завдання.
3. Проаналізовано типи дисперсних розчинів: грубо дисперсних, високо дисперсних та молекулярних. Головними параметрами розчину являється розмір частинок та їх кількість в ньому, дані параметри впливають на можливість та швидкість розчинення матеріалу в середовищі.
4. Проаналізовано вимірювальні установки, які базуються на принципах електронної мікроскопії, лазерної дифракції та ультразвукового контролю, були визначено їх основні недоліки, а саме: відсутність будь-якого функціоналу для обробки даних вимірювання, непристосованість для вимірювань за межами лабораторії. Провівши подальший аналіз можливостей, було обрано для вдосконалення прилад ВДЛ-1М, який базується на методі лазерної дифракції.
5. Проаналізовано протокол даних вимірювальної установки та відокремлено головні параметри, а саме: середній діаметр частинок, кількість частинок певного розміру в розчині, об'ємна концентрації частинок, питома площа поверхні малорозмірних частинок.
6. Проведено аналіз програмних модулів та технологій, використаних для розробки програмного додатку, таких як: Apache Maven, Lombok, JavaFx, JavaRx, Apache Poi. З'ясовано функціональні можливості даних модулів.

Розроблено програмний додаток на базі мови програмування Java та сумісних з нею технологій.

7. Експериментально доведено, що використання програмного додатку зменшує час обробки готового протоколу з 30 хвилин до 15 секунд. Використання програми надає можливість проводити вимірювання в реальному часі та контролювати технічний процес виготовлення розчинів при відхиленні від якого вмикається звуковий сигнал, що попереджує про відхилення продукції від заданих параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В. М. Кутя / Аналіз методів і засобів контролю дисперсності емульсій // Вісник інженерної академії України // № 3-4, 2013 - С. 242-247
2. Дисперсні системи // Хімічна енциклопедія. Т. 2. - М .: Радянська енциклопедія, 1990. С. 80-82.
3. Сеттерфілд Ч. Практичний курс гетерогенного каталізу. - М .: Світ, 1984. - 520 с.
4. Класифікація дисперсних систем // https://studopedia.su/16_176683_klasifikatsiya-dispersnih-sistem.html.
5. Аття А.М.А. Особенности подготовки водо-топливных эмульсий на основе легких топлив // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8 (часть 3). – С. 706–709.
6. Aubin J. Current methods for characterising mixing and flow in microchannels / J.Aubin, M. Ferrando, V. Jiricny // Chemical Engineering Science. – 2010. – Vol. 65 (No 6). – P. 2065–2093
7. Sjoblom J. Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology / J. Sjoblom. – New York: Marcel Decker, 2001. – 760 p.
8. Merkus H.G. Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality / H.G. Merkus. – Springer, 2009. – 533 p.
9. Jillavenkatesa A. Particle Size Characterization: NIST Recommended Practice Guide /A. Jillavenkatesa, S. J. Dapkunas, L.-S. H. Lum. – Washington: NIST, 2001. – 164 p.
10. McClements D. J. Ultrasonic Characterization of a Food Emulsion / D. J. McClements, M. J. W. Povey, M. Jury, E. Betsanis // Ultrasonics. – 1990. – No.28. – P. 266–272.
11. Анализатор размеров и формы частиц Retsch Technology CAMSIZER P4 // http://www.macrolab.com.ua/catalog/retsch_technology/digital_image_processing/camsizer_p4/

12. Анализаторы размеров частиц для сухого анализа Occhio // <http://www.ssci-ltd.ru/zephyr-analizator-razmera-i-formy-chastic>
13. Микроскоп-анализатор размера и формы частиц BeVision M1 - Химэксперт // <https://khimexpert.com/product/mikroskop-analizator-razmera-i-formy-chastits-bevision-m1/>
14. Микроскоп-анализатор размера и формы частиц BeVision S1 - Химэксперт <https://khimexpert.com/product/mikroskop-analizator-razmera-i-formy-chastits-bevision-s1/>
15. AccuSizer 780/SIS // <https://www.alsichrom.com/atomnaya-spektrometriya/item/79-analizatory-razmera-chastits/163-analizatory-razmera-chastits-proizvodstva-particle-sizing-systems.html>
16. Лазерный анализатор размера частиц Bettersizer ST // <https://novations.ua/ru/analyzator-razmera-chastycz-bettersizer-st/>
17. MasterSizer 3000 - лазерный анализатор размеров частиц, лазерный гранулометр, лазерный дифрактометр - Malvern Panalytical // <https://www.malvernpanalytical.com/ru/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000>
18. UIP500hdT - Industrial Processing in Small Scale - Hielscher Ultrasound Technology // https://www.hielscher.com/i500_p.htm
19. Белик В.В. Физическая и коллоидная химия / В.В. Белик, К.И. Киевская. – М.: Академия, 2005. – 512 с.
20. Гончарук В.В. Экспресс-измерение взвешенных частиц в водной среде /В.В. Гончарук, В.В. Таранов,Л.С. Нифантова //Сборник тезисов международного конгресса ЕВТЕК-2015 (г. Ильичевск, 8-12 июня 2015 г.). – С. 63-69.
21. Гончарук В.В., Самсони–Тодоров А.О., Таранов В.В., Лесников Е.В., Чистюнин В.Ф., А.В. Сыроешкин. Устройство для определения частиц// Патентная заявка РФ № 2010130723.28(043506) от 21.07.2010.

22. Аппарат для измерений дисперсности Измеритель дифракционный лазерный « ВДС-1М ». Паспорт и руководство по эксплуатации. Киев. 2019г. – 12 с
23. Технический паспорт на прибор «Малоугловой измеритель дисперсности лазерный ВДС – 1», № 52.1440 – 2009, г. Обнинск, 2009, –14 с.
24. Таранов В. В. Розмірний спектр мікрогених структур як фізико-хімічний стан рідинної системи / В. В. Таранов // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – Вип. 3(66) – С. 93-94.
25. Т.В. Плетенева, П.И. Попов, А.В. Сыроешкин, А.С. Берлянд, К.С. Шаназаров, Е.В.Лесников, В.Л. Багирова // Определение распределения частиц по размеру методом лазерной дифракции// Ведомости НЦЭСМП. – 2007. – т. 4 –. С. 104-107.
26. Технический паспорт на прибор «Малоугловой измеритель дисперсности лазерный ВДС – 1», № 52.1440 – 2009, г. Обнинск, 2009, –14 с.
27. Абакумов С. Н., Сыроешкин А.В. Метод лазерной дифракции для оценки качества и стандартизации лекарственных средств // в 2 кн. «Стандартизация и контроль качества лекарственных средств». – М.: «Медицинское информационное агенство»., 2008. – С. 252-264.
28. Герберт Шилдт Java. Полное руководство // в 10е // 2016. -35 -37 С
29. JavaFX – Краткое руководство // <https://coderlessons.com/tutorials/java-tekhnologii/vyuchi-javafx/javafx-kratkoe-rukovodstvo>
30. Машнин Т. С. М38 JavaFX 2.0: разработка RIA-приложений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 7-10 С
31. Адам Фримен. ASP.NET MVC 4 с примерами на C# 5.0 для профессионалов, 4-е издание = Pro ASP.NET MVC 4, 4th edition. — М.: «Вильямс», 2013. — 688 с. — ISBN 978-5-8459-1867-3.
32. Джесс Чедвик и др. ASP.NET MVC 4: разработка реальных веб-приложений с помощью ASP.NET MVC = Programming ASP.NET MVC 4:

Developing Real-World Web Applications with ASP.NET MVC. — М.: «Вильямс», 2013. — 432 с. — ISBN 978-5-8459-1841-3.

33. Apache Maven // Офіційний сайт проекту // <http://maven.apache.org/guides/introduction/introduction-to-the-pom.html>

34. Project Lombok // Офіційний сайт проекту // <https://projectlombok.org/>

35. Многопоточность Thread, Runnable // <http://java-online.ru/java-thread.xhtml>

36. Реактивные библиотеки RX - DOU <https://dou.ua/lenta/articles/reactive-libraries/>

37. Островский Г.М Шлионский Ю.С // Новый справочник химика и технолога, Процессы и аппараты химических технологий, Часть II - СПб: НПО"Профессионал", 2006 - 444-447 С.

38. Воларович М.П Чураев Н.В // Труды Инсторфа №1(54) Исследование степени дисперсности торфа 1955г -37-55С

39. Блохин А.Н Кулижский С.П // Почвоведение и лесное хозяйство // Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // УДК 631 2009 37-43С

40. Неоднорідності рідкого середовища під впливом температури / В.В. Таранов, А.Ю. Курлянцєва // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми хімії і хімічної технології». – Київ, 20 – 21 листопада 2014 року. – С. 52 – 53.

41. Экспресс-определение концентрации примесей в жидких средах / В.В. Таранов, А.Ю. Курлянцєва // Матеріали XXXXII Міжнародної науково-практичної конференції «Застосування лазерів у медицині та біології». – Яремче, 11 – 13 грудня 2014 року. – С. 163 – 165.

42. ISO 13320:2020 // <https://www.iso.org/standard/69111.html>

43. Лонг Ф. Руководство для программиста на Java: 75 рекомендаций по написанию надежных и защищенных программ / Фред Лонг. - СПб: Вильямс, 2014.

44. Ткаченко О. М. Об'єктно-орієнтоване програмування мовою Java. Навчальний посібник / О. М. Ткаченко, В. А. Каплун. - Вінниця: 2006. - 107 с.

45. Apache Maven // https://uk.wikipedia.org/wiki/Apache_Maven
46. В. М. Кутя // Автоматизований контроль фізико-хімічних параметрів емульсій // Вісник інженерної академії України // УДК 681.518.3// <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/1001/120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
47. Об'єктно - орієнтоване програмування // <https://www.programming.in.ua/programming/basisprogramming/25-oop.html>

ДОДАТКИ

УДК 004.42; 535.433

ПРОГРАМНИЙ ДОДАТОК КОНТРОЛЮ ДИСПЕРСНОСТІ РОЗЧИНІВ

Защепкіна Н. М., Мельниченко Д. С., Довга О. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: nanic1604@gmail.com, melnik.dimoss@gmail.com

Важливою умовою нормального проходження процесів виробництва гомогенних і гетерогенних систем (золі) у рідкій фазі є контроль масового та об'ємного вмісту компонентів дисперсної системи в динаміці. Взаємодія розчиненої речовини із розчинником в деяких випадках призводить до дисоціації. Частинки, що утворилися в результаті дисоціації, взаємодіють із розчинником із утворенням мікрогенних структур сольватів та гідратів, що спричиняє зміну експлуатаційних характеристик розчинів.

Для отримання інформації про розмірні характеристики, концентрацію та розподіл часток дисперсної фази розчинів доцільним є застосування методу лазерної дифракції (LALLS), що дозволяє діагностувати зміну об'ємних концентрацій структурних елементів дисперсної фази розчинів розмірами 0,01 – 100 мкм у всьому об'ємі досліджуваного зразка в режимі реального часу [1].

Для розробки програмного додатку контролю дисперсності розчинів, запропоновано алгоритм, який наведено на рис 1.

Пропонується використовувати мову програмування Java та інтегроване середовище розробки IntelliJ IDEA 2019.

Оскільки в рамках представленої роботи проводиться робота лише з декількома вузлами лазерного вимірювача дисперсності «ВДЛ-1М», необхідно розробити архітектуру програми, що дозволяє створювати та додавати в проєкт окремі програмні модулі, призначені для роботи незалежно один від одного.

Представлений алгоритм містить наступні структурні блоки: БСГВ – блок створення головного вікна, БВФ – блок вибору файлу, БЗОЗ – блок завантаження та обробки зображення, БППП – блок побудови графіків згідно протоколу, БПГРЧ – блок побудови графіків в реальному часі, БСЗІ – блок світлової та звукової індикації, БЗР – блок збереження результатів.

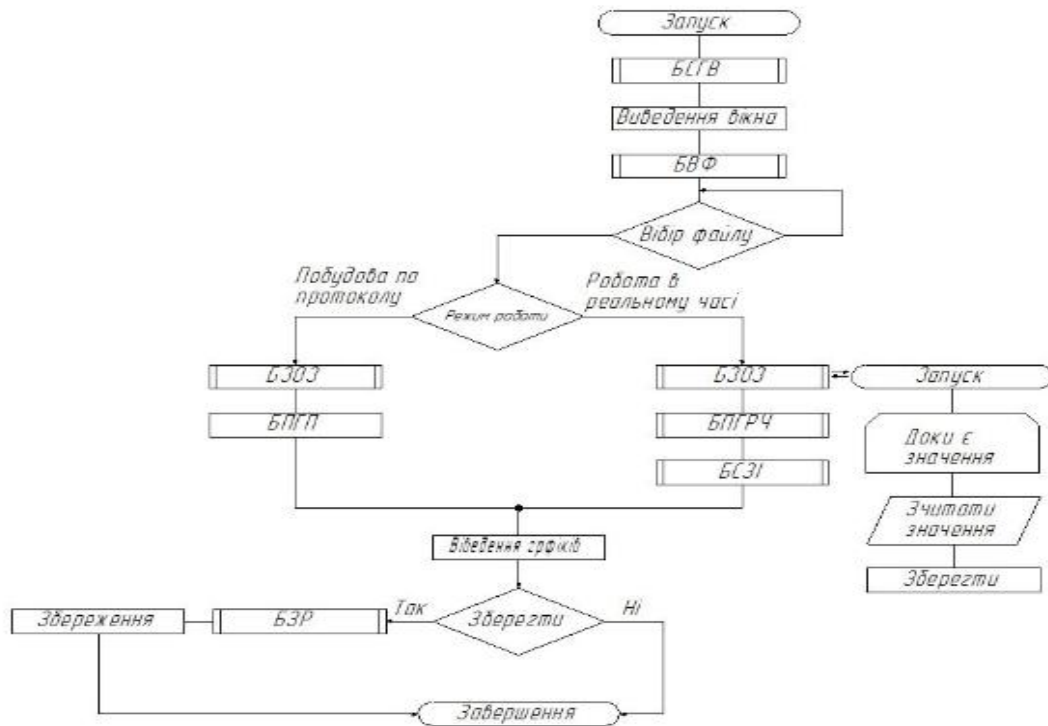


Рис. 1. Схема алгоритму роботи програмного додатку

Для обробки асинхронного оновлення дій використовується бібліотека RxJava 2 для постійного оновлення даних із протоколу вимірювача. Бібліотека ApachePOI – необхідна для обробки форматів «xls» та «xlsx» вимірювань які зберігаються в MS Excel. JavaFX застосовується для створення візуального інтерфейсу програмного додатку [2].

Автоматизація вимірювань розподілу часток дисперсної фази розчинів за їх розмірними спектрами, шляхом використання спеціалізованих програмних додатків, дозволяє проводити об'єктивний експрес контроль їх показників у виробничому процесі в динаміці. Значення вимірів дозволяють подальшу обробку сторонніми апаратними та програмними засобами.

Ключові слова: лазерна інтерферометрія, програмне забезпечення, розчини.

Література

- [1] В. В. Гончарук, А. О. Самсони-Тодоров, В. В. Таранов, Е. В. Лесников, В. Ф. Чистюнин,
Е. А. Орехова, А. В. Сыроешкин, “Лазерный экспресс-метод диагностики водных и воздушных сред”, Электроника и связь, № 2, с. 162-163, 2010.
- [2] Опис інтегрованого середовища розробки IntelliJ IDEA 2019 [Електронний ресурс].
Доступно: <https://www.jetbrains.com/idea/>